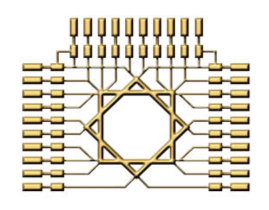
المعهد العالي للعلوم التطبيقية
والتكنولوجيا



مدخل إلى كيمياء المياه

(تلوث – معالجة – تحليل)



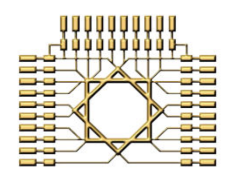
الدكتور نصر الحايك

مدخل إلى كيمياء المياه

(تلوث – معالجة – تحليل)

تأليف

الدكتور نصر الحايك



منشورات المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

2017

مدخل إلى كيمياء المياه (تلوث – معالجة - تحليل)

الدكتور نصر الحايك

التقويم العلمي: د. تمام درويش، د. عدنان علي نظام، د. حسين الخضر

التدقيق اللغوي: د. محمد موعد

تصميم الغلاف: إباء نصر الحايك

تنسيق الكتاب: أمجد نصر الحايك

من منشورات المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

الجمهورية العربية السورية، 2017.

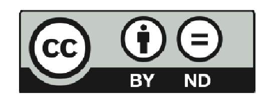
Introduction to Water Chemistry

(Pollution – Treatment – Analysis)

Dr. Nasser Al-Hayek

Publications of the **Higher Institute for Applied Sciences and Technology (HIAST)**

Syrian Arab Republic, 2017.



ISBN 978-9933-9228-6-3

منشورات المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

- "الجبر، الجزء الأول، مبادئ الجبر المجرد"، للدكتور عمران قوبا، الطبعة الأولى 2009، الطبعة الثانية 2017.
- "التحليل، الجزء الأول"، للدكتور عمران قوبا، الطبعة الأولى 2009، الطبعة الثانية 2017.
- "كيمياء المحاليل المائية"، للدكتورة يمن الأتاسي، الطبعة الأولى 2011، الطبعة الثانية 2016.
- "الأنظمة الرادارية في مواجهة التشويش والخداع"، للدكتور علي طه، 2011.
- "ميكانيك النقطة المادية"، للدكتور مصطفى العليوي والدكتور هاني قوبا، الإصدار الأول 2011، الإصدار الثاني 2016.
- "الجبر، الجزء الثاني، الجبر الخطي"، للدكتور عمران قوبا، 2017.
- "التحليل، الجزء الثاني"، للدكتور عمران قوبا، 2017.
- "المرجع في الرسم الصناعي، الجزء الثالث"، للدكتور محمد بدر قويدر، 2017.
- "مدخل إلى كيمياء المياه: تلوث- معالجة- تحليل"، للدكتور نصر الحايك، 2017.
- "الترموديناميك"، للدكتور عقيل سلوم، 2017.
- "دليل الرسام الصناعي"، للدكتور مصطفى الجرف، 2017.

سيصدر لاحقاً:

- "التحليل، الجزء الثالث"، للدكتور عمران قوبا.
- "التحليل، الجزء الرابع"، للدكتور عمران قوبا.
- "التحليل، الجزء الخامس"، للدكتور عمران قوبا.

لمعلومات أوفى عن المنشورات وطلب نسخة ورقية أو تحميل
المتاح منها إلكترونياً، يمكن الاطلاع على موقع المعهد الإلكتروني:
www.hiast.edu.sy

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا مؤسسة حكومية للتعليم العالي أحدثت بموجب المرسوم التشريعي رقم /24/ لعام 1983، وذلك بهدف إعداد أطر علمية متميزة من مهندسين وباحثين للإسهام الفاعل في عملية التطوير العلمي والتنمية في الجمهورية العربية السورية.

يمنح المعهد العالي درجة الإجازة في الهندسة في الاتصالات والمعلوماتية والنظم الإلكترونية والميكاترونيكس وعلوم وهندسة المواد وهندسة الطيران. يقبل المعهد العالي لدراسة هذه الاختصاصات شريحة منتقاة من المتفوقين في الشهادة الثانوية من الفرع العلمي. يتيح المعهد العالي أيضاً برامج ماجستير أكاديمي في نظم الاتصالات وفي التحكم والروبوتيك وفي نظم المعطيات الكبيرة ونظم المعلومات ودعم القرار وفي علوم وهندسة المواد وعلوم وهندسة البصريات. ويمنح المعهد العالي درجة الدكتوراه في الاتصالات والمعلوماتية ونظم التحكم والفيزياء التطبيقية. تُحدث في المعهد العالي اختصاصات جديدة بحسب متطلبات سوق العمل وتوجهات البحث والتطوير المحلية والعالمية.

يمتاز المعهد بأطره الكفوءة ذات التأهيل العالي وبمختبراته المجهزة تجهيزاً عالياً وببنيته التحتية الفريدة في القطر. إلى جانب النشاط التعليمي، يمارس المعهد العالي عبر جهود أطره وفعالياته العلمية المختلفة نشاطاً حثيثاً في البحث والتطوير، إذ ينفذ مشاريع متنوعة لصالح الجهات العامة والخاصة في القطر، كما يتعاون مع جهات خارج القطر في بعض المشاريع البحثية والتطويرية. يسعى المعهد أيضاً، عبر دورات تدريبية نظرية وعملية متاحة للقطاعين العام والخاص وللأفراد، إلى إفادة أوسع فئة من المهتمين من إمكانيات فريقه العلمي ومختبراته.

استكمالاً لدور المعهد العالي الرائد في مجال التعليم ونشر العلم، يحرص المعهد العالي على نشر كتب علمية عالية المستوى من نتاج أطره العلمية، منها ما هو تدريسي يوافق المناهج في المعهد العالي ويفيد شريحة واسعة من الطلاب الجامعيين عموماً، ومنها ما هو علمي ثقافي. يخضع الكتاب قبل نشره إلى عملية تقويم علمي من مجموعة منتقاة بعناية من أصحاب الاختصاص، إضافةً إلى تدقيق لغوي حفاظاً على سوية عالية للمنشورات باللغة العربية.

يتيح المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا بعضاً من منشوراته على موقعه على الشابكة تحت رخصة المشاع الإبداعي لتعميم الفائدة على شريحة واسعة من القراء.

للتواصل مع المعهد العالي والاطلاع على شروط النشر وآخر المنشورات وتحميل المتاح منها:

المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق، ص.ب 31983

هاتف 00963115123819 - فاكس 00963115140760

بريد إلكتروني contact@hiast.edu.sy

موقع إلكتروني www.hiast.edu.sy

الفهرس

المقدمة

تواجه المجتمعات البشرية أخطاراً كبيرة مع مطلع الألفية الثالثة، وقد اعتاد الإنسان أن يعدّ الطبيعة كنزاً لا ينضب تعطي ما يُطلب منها دون أن يؤثر في إفراغ جعبتها التي تملؤها قواها الذاتية باستمرار، لذلك استمر الإنسان بتسخيرها بقوة ليصبح النشاط البشري أداة مدمرة لا يعرف الحدود، وتغيب فيه القوانين والتشريعات.

ولقد أدى الوعي بالمسؤولية عما يحدث على سطح هذه المعمورة من تغيرات إلى اهتمام الباحثين والفنيين في مجال الثروات الطبيعة وأهمها عنصر الماء، لذلك بدأت المسألة المائية تحتل مكانة الصدارة في كافة المحافل الدولية والعربية.

يختلف الاهتمام بالبيئة في الدول الصناعية عما هو عليه في الدول النامية، ففي الدول الصناعية تتضافر جهود هيئات رسمية مختلفة مع هيئات أهلية للدفاع عن البيئة المحيطة بها حتى لو اضطرت إلى إبعاد خطر التلوث عنها ونقله إلى دول العالم الثالث (طمر النفايات الذرية والنفايات الكيميائية في الدول النامية)، ويعملون على تحسين مستوى الحياة للناس المتمتعين أصلا" بمستوى معيشي جيد. أما الاهتمام بالبيئة في الدول النامية فإنه مازال في بدايته، ويختلف عما هو عليه في الدول الصناعية من حيث النوعية ومن حيث الفعالية. إنه باختصار شديد يتمثل في الدفاع عن الحياة وإيجاد الظروف الملائمة للبقاء وتجنب العطش والجوع، نتيجة الأوضاع المتردية في مستوى المعيشة والزيادة السريعة في النمو السكاني والذي لا يتناسب على الإطلاق مع الإنتاج الزراعي أو الصناعي لتلك الدول، بل إن هناك انخفاضا" في إنتاج المواد الغذائية نتيجة عوامل بيئية وغير بيئية .

تحتل مشكلة المياه في الدول النامية حيزا" كبيرا" من اهتماماتها، وليس ذلك محصورا" بتحسين نوعية مياه الشرب أو مياه الري، بل إن الأهم هو إيجاد المصادر المائية اللازمة لمواكبة النمو السكاني. إن استعراضا" سريعا" لخريطة العالم العربي يبين أن أكثر الدول العربية واقعة في المناطق الشحيحة بالماء، وقد يكون هذا أحد أسباب التخلف الاقتصادي نظرا" لأهمية المياه في تطوير الزراعة والصناعة على حد سواء. وتظهر أهمية المياه في الحياة البشرية بأشكال مختلفة تتناسب مع احتياجات الإنسان العصري لمياه شرب نقية، وللتوسع المستمر في المرافق العامة المستهلكة لكميات كبيرة من المياه، كالمسابح والملاعب الرياضية وأماكن الترفيه والتسلية. ويصل المعدل العام لاستهلاك الفرد الأوروبي إلى أربعة آلاف متر مكعب سنويا" من الماء بينما معظم الدول العربية يقع تحت عتبة الفاقة المائية (أقل من 1000 م^3 / سنويا للفرد). ومع زيادة استهلاك المياه النقية، تزداد المياه الملوثة المطروحة في المياه السطحية (أنهار، بحيرات، بحار)

والقادمة من التجمعات السكنية أو الصناعية، وتتميز تلك المواد بحمولتها العالية من الملوثات العضوية والمعدنية، إضافة إلى بعض المواد السامة الناتجة عن العديد من الصناعات، خاصة إذا علمنا أن معظم مصانع الدول النامية تطرح مياه صرفها دون معالجة. ونشير إلى أن 2,6 مليار إنسان في هذا العالم دون صرف صحي مناسب، ويموت كل ثانية طفل نتيجة لسوء الصرف الصحي.

تشكل المياه العذبة من بحيرات وأنهار نسبة أقل من 0.1% من إجمالي مخزون الكرة الأرضية من المياه، وتتجدد المياه العذبة باستمرار عن طريق تغذيتها بمياه الأمطار والثلوج. ويقدر معهد الموارد المائية العالمي أن 41 ألف كيلو متر مكعب سنويا" من المياه تصب في البحار على شكل أنهار أو فيضانات أو سيول أو مياه صرف، لتعادل الكمية المتبخرة من سطح البحر وتحافظ على التوازن الطبيعي القائم. وتتضمن تلك الكمية المتدفقة 27 ألف كيلومتر مكعب من مياه الفيضانات التي يتعذر الاستفادة منها، كما يسقط نحو 5 آلاف كيلومتر مكعب سنويا" من الأمطار والثلوج على المناطق غير الآهلة بالسكان، وبالتالي لا يمكن الاستفادة منها أيضا"، ويبقى نحو 9 آلاف كيلومتر مكعب من المياه الخاضعة للاستفادة واستثمارها من قبل البشرية. وتعدّ هذه الكمية كافية ليعيش منها 20 مليار إنسان، ولكن توزعها على سطح الكرة الأرضية لا يتناسب مع التوزع السكاني، وبالتالي تظهر المناطق الجافة مقابل مناطق غنية بالماء العذب.

تستهلك الزراعة القسم الأكبر من الموارد المائية، حيث تصل تلك النسبة إلى 73% تقريبا" من مجمل المياه المستعملة، وتروي تلك الكمية من المياه ما يقارب 3 ملايين كيلومتر مربع من الأراضي الزراعية، وتزداد تلك المساحة بمعدل 8% سنويا. ويواجه العجز المائي الحاصل بإقامة السدود للاستفادة من مياه الفيضانات، والبحث عن المياه الجوفية وتحلية مياه البحر وتطوير عمليات المعالجة للمياه للاستفادة منها وإعادة تدويرها. ويفكر الإنسان حاليا" في الاستفادة من المخزون الهائل من المياه المتراكمة على شكل طبقات من الجليد سمكها نحو 2200 متر في المناطق القطبية .

عرفت الكرة الأرضية نموا" سكانيا" سريعا" بعد مرحلة التغلب على الأوبئة القاتلة وارتفاع مستوى المعيشة، فقد كان عدد سكان الكرة الأرضية 2.5 مليار نسمة في عام 1950 ووصل إلى 8 مليار نسمة في عام 2011. ويحدث معظم تلك الزيادة (95%) في الدول النامية ومنها الوطن العربي. فقد كان عدد سكان الوطن العربي 92 مليون شخص في عام 1961 ولكنه تجاوز 400 مليون شخص حاليا". فإذا ما تفحصنا خارطة التوزع العالمي للمياه، نجد أن الوطن العربي يبدو من أكثر المناطق المهددة بنقص المياه، فالملاحظة التي تفرض نفسها في الحال هي أن هذه

البقعة من العالم التي تضم 4.3% من سكان الأرض لا تمتلك سوى 0.76% من المياه العذبة المتجددة.

وخلال العقود الأخيرة التي تميزت بالإصرار والتشديد على التنمية والتطور التقني، يأتي زمن القلق. فمنذ نهاية الخمسينيات من القرن الماضي توجهت الجهود العربية إلى حشد القدرات المتنامية، من الزراعة المروية، ومن إنتاج الطاقة الكهربائية، حيث أثمرت عن أضخم مشروعات في زمنها وهما السد العالي في مصر وسد الفرات في سورية.

ولكن على أثر الصدمة الثلاثية للجفاف والتلوث والنمو السكاني المذهل، فإن هذا المورد الطبيعي الذي اعتقد أنه متوافر دوما" أصبح ثروة اقتصادية نادرة، وبدأت تظهر المشكلة الحقيقية لندرة المياه والتلوث.

إنّ تحليل المسألة المائية لا يمكن حصرها بالمعطيات التقنية والاقتصادية الصرفة أو الاقتصار على تحليلات بسيطة تتعلق بالحجم وبالتدفق، فالماء يروي حكاية المجتمع، والعوامل الاجتماعية والسياسية هي عوامل حاسمة أيضا. فاستعمال هذا المورد وأساليب استعماله لها القدر نفسه من الأهمية مما لدى الحساب البسيط للكميات المستهلكة. إن توزيع ثروة متواضعة وموزعة على نحو غير متساوٍ يطرح مشكلات عديدة على جميع المستويات. وقد أصبح الماء واستعماله وملكيته أكثر من أي وقت مضى رهان الوقت الحاضر في الوطن العربي.

تشهد البلاد العربية في السنوات الأخيرة نهوضا" صناعيا" ضخما"، مع تركيز للمصانع في المدن الكبيرة، وظهور صناعات جديدة تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه النقية التي تتحول بعد استعمالها إلى مياه ملوثة، وإذا علمنا أن معظم تلك المصانع غير مجهزة بمحطات معالجة، أدركنا خطورتها على البيئة ولا بد من التأكيد هنا على سياسة الدول المتقدمة صناعيا" التي اعتمدت خلال العشرين عاما" الأخيرة على التخلص من الصناعات المستهلكة للماء والملوثة للبيئة ونقلها إلى دول العالم الثالث ومنها بلادنا العربية. وتقدر بيانات الأكواستات التابعة لمنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة كميات مياه الصرف الصحي في المدن العربية في عام 2000 بحوالي 4 مليار متر مكعب مما يجعلها رقما مهما في الموازنة المائية {97}.

إذا" فإن المنطقة العربية بحاجة إلى سياسة مائية فاعلة لاستثمار جيد للموارد المائية المتوافرة وتطوير سياسات استعمال المياه مع التطوير الاقتصادي والاجتماعي الحاصل، ويمكن إيجاز أهم الإجراءات التي يمكن أن تخفف من مشكلة المياه في البلاد العربية بالآتي:

- وضع سياسات زراعية مدروسة ومخطط لها تتناسب مع كمية المياه المتوفرة ومع البيئة، والفصل الكامل بين مفهوم الأمن الغذائي ومفهوم الاكتفاء الذاتي للقناعة التامة

بأن الاكتفاء الذاتي من المواد الغذائية مستحيل على المستوى القطري ولكنه ممكن على المستوى العربي.

- إعادة النظر في سياسة توزيع المياه على المجالات المختلفة (زراعة – مدن – صناعة) ووضع خطط بعيدة المدى لتفادي حدوث أزمات في المستقبل المتوسط.
- بناء مزيد من السدود السطحية للاستفادة من مياه الأمطار ودعم الطرائق الحديثة للري.
- الترشيد في استهلاك المياه الصناعية، من خلال التوعية والقوانين الصارمة.
- الحد من ظاهرة التلوث للمياه السطحية والجوفية بوضع وتطبيق قوانين صارمة للمنشآت الصناعية والتجمعات السكنية.
- تطوير عمليات إعادة استخدام المياه في المنشآت الصناعية، وتعميم محطات المعالجة لمياه الصرف للمدن وإعادة استثمار تلك المياه في الري.
- تطوير عمليات استثمار الأحواض الجوفية العميقة ضمن مخطط مدروس يأخذ في الحسبان مصالح الأجيال القادمة وبعيدا" عن الأنانية المدمرة.
- تطوير عمليات تحلية مياه البحر واللجوء إلى الطاقة الشمسية في تأمين الطاقة اللازمة لها نظرا" إلى كون الكلفة المرتفعة في تحلية مياه البحر ناتجة عن كلفة الطاقة.

ولنعرج بصورة مختصرة جدا" على الوضع المائي في سورية التي تعدّ من الدول شبه الجافة، حيث إن أهم التحديات التي تواجهها في المرحلة الحالية هي النقص الحاد في إمدادات مياه الشرب لندرتها وتلوث بعض مصادرها بمياه الصرف الصحي. إن الاستنزاف الجائر للمياه الجوفية لأغراض الري وإتباع أسلوب الغمر وعدم وجود سياسة مائية لترشيد استهلاك المياه ينذر بكارثة.

تستهلك سورية 2,1 مليار متر مكعب من المياه للاستهلاك البشري والصناعي سنويا"، وهي ثروة لابد من الاستفادة منها وإعادة الاستعمال الآمن لها بدلا" من هدرها. إن الهدف هو الاستفادة القصوى من مياه الصرف المعالجة وتحويلها إلى مورد مائي استراتيجي يحل محل مياه الشرب في الاستعمالات التي لا تتطلب مياهها جودة عالية.

تتلوث المياه في أثناء دورتها في الطبيعة بنوعين من المخلفات: أحدهما هو ما تطرحه البشرية من مخلفات صلبة وسائلة، والآخر هو المخلفات الصناعية والزراعية المختلفة. وتحتوي تلك المخلفات المواد العضوية والمعدنية والحيوية. وإذا كان بالإمكان التخلص من المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي بفعل عملية طبيعية ضمن الوسط المائي، تسمى التنقية الذاتية، فإن قسما" كبيرا" منها غير قابل للتحلل الحيوي، ويضاف إلى ذلك المركبات السامة من عضوية ومعدنية تطرح في المياه السطحية.

ولم تنجُ البحار من مخاطر التلوث تلك، حيث ينتقل إليها سنويا" ملايين الأطنان من المخلفات الصناعية والحضرية، ومن الواضح أن النشاط البشري مسؤول عن الضرر الذي لحق بالبيئة البحرية على نطاق واسع. حيث يتلقى بحر الشمال، على سبيل المثال 700 ألف طن من النترات و 65 ألف طن من الفوسفات سنويا. أما المثال الصارخ لتلوث البحار فيظهر في البحر الأبيض المتوسط الذي يعاني من ضغوطات شديدة ناجمة عن عوامل عديدة أبرزها الكثافة السكانية والأنشطة التجارية والنقل البحري وغيرها.

يترافق البحث العلمي دائما مع الحاجة الإنسانية في الدول المتقدمة، ولذلك شهدت السبعينيات من القرن الماضي ازدهارا" سريعا" للأبحاث في مجال الطاقة البديلة بعد ارتفاع أسعار النفط، بينما شهدت الثمانينات من القرن الماضي تطورا" كثيفا" وملحوظا" للدراسات والأبحاث المتعلقة بمعالجة المياه على أساس أن السنوات اللاحقة ستعاني من مشكلة التلوث ونقص مصادر المياه العذبة، وترافقت تلك الأبحاث مع تطوير صناعة المياه، وظهرت الشركات العالمية الكبيرة المتخصصة في تجهيزات معالجة المياه، وترافق كل ذلك مع تطوير المعايير القياسية والمراقبة وإقامة الهيئات المتخصصة في التخطيط لاستثمار المياه المتوافرة وإيجاد مصادر جديدة للمياه، ونذكر على سبيل المثال أنه لم يكن هناك سابقا" ما يسمى بوزارة البيئة في العالم، أما الآن أصبحت موجودة في معظم دول العالم.

نظرا" إلى ما يشكله هذا الموضوع من أهمية بالغة لحياة الإنسان وخاصة في البلاد التي تعاني من مشكلة المياه، ومنها سورية، فقد أعد هذا الكتاب ووضع في متناول القارئ العربي. ويعدَ هذا العمل محاولة في تقديم مدخل واسع نوعا" ما يشمل تلوث المياه وتنقيتها وطرائق تحليلها وقد جاء نتيجة محاولات سابقة تمخضت عن إصدار عدد من الكتيبات الصغيرة في مجال التلوث و معالجة المياه.

يعرض هذا الكتاب في الفصل الأول لمحة تاريخية مختصرة عن تصفية المياه وتطور التقنيات التي استعملت في المعالجة والتحليل.

أما الفصل الثاني فإنه يعرض الخواص الفيزيائية والكيميائية للماء كما ويعرض مجمل التوازنات القائمة ضمن الوسط المائي الطبيعي ومعاملات التلوث المعدني والعضوي.

ويعرض الفصل الثالث معظم الملوثات المعدنية والعضوية وإيضاح مصادرها وتأثيرها في البيئة المائية والحيوانية وعلى صحة الإنسان مركزين على الملوثات الناتجة عن الاستعمالات البشرية وخاصة الصناعية و الزراعية.

أما الفصل الرابع المعنون بالأسس النظرية لطرائق المعالجة للمياه فإنه يتضمن القواعد النظرية الأساسية لمجمل مراحل المعالجة للمياه السطحية المخصصة لإنتاج مياه الشرب من ترشيح

وتخثير وتكتل وترسيب وأكسدة وتعقيم دون التعرض للمعالجة الحيوية التي ستعالج في الفصل السادس.

يقدم الفصل الخامس التقنيات المستعملة في خط إنتاج ماء شروب انطلاقا" من المياه السطحية الملوثة، ويوضح مجمل المراحل بالتفصيل مع عمليات التطوير التي أدخلت على تقنية إنتاج ماء شروب لتواكب ظهور أجيال من الملوثات المعدنية والعضوية الناتجة عن تطور الحياة البشرية والمتمثلة باستعمال مواد منظفة جديدة في تركيبتها ومرتفعة في نسبة وجودها، وكذلك توسع مجال استعمال الأسمدة والمبيدات الزراعية إضافة إلى التطور الصناعي الهائل الذي ترافق مع أجيال جديدة من المواد المطروحة في المياه السطحية والتي تدخل مع الماء الخام إلى محطات المعالجة.

حاولنا في الفصل السادس عرض التقنيات المستعملة في معالجة مياه الصرف الصحي. أما مياه الصرف الصناعية فإن لها خصوصية محددة تعتمد على نوعية الصناعة وعلى حجم المياه المستعملة ولا يمكن إعطاء وصفات عامة للمعالجة، لذلك جرى عرض طرائق المعالجة المستعملة في بعض الصناعات وخاصة المستهلكة لكميات كبيرة من المياه.

أما في الفصل الأخير فنعرض أهم طرائق تحليل العناصر في المياه السطحية والمياه الملوثة صناعيا" إضافة إلى بعض المقاييس الخاصة بمياه الشرب. وقد حاولنا في هذا الفصل استعراض الطرائق الأساسية للتحليل الكيميائي رغم معرفتنا بأن معظم المختبرات تستخدم حاليا تجهيزات حديثة في التحليل تعتمد على التحليل الآلي.

وأخيرا" نتمنى أن نكون قد وفقنا في تقديم عمل يخدم العاملين في مجال معالجة المياه من جهة، والراغبين في الاطلاع على مشكلات تلوث البيئة المائية من جهة أخرى.

المؤلف

الفصل الأول

لمحة تاريخية عن معالجة المياه وتحليلها

1. 1 تنقية مياه الشرب:

إن عملية نقل الماء لتغذية المناطق السكنية قد بدأت منذ 7000 عام باستخدام قنوات بسيطة، وفي مرحلة لاحقة استخدم المصريون قنوات من شجر النخيل واستعمل الصينيون الفخار. أما الاهتمام الحقيقي بنوعية المياه ونقلها وتخزينها فقد ظهر في اليونان القديمة، حيث طورت وسائل الاستفادة من مياه الأمطار بجمعها وتخزينها وتوزيعها، وطور الرومان قنوات الري واستثمار المياه الجوفية.

إن أول نظام لتغذية مدينة بكاملها بمياه الشرب أنشأه (John Gibb) في عام 1804 في مدينة (Paisley) الواقعة في منطقة (Ecosse) الإنكليزية، وأقيمت أول محطة لتنقية المياه في مدينة باريس الفرنسية في عام 1806 والتي تضمنت حوض ترقيد بزمن مكوث 12 ساعة ثم عملية ترشيح على الرمل وفحم الخشب الذي يُبدل كل 6 ساعات، أما إنشاء أول مرشح نظامي لمياه الشرب فقد كان في عام 1827 من قبل البريطاني (James Simpson). ومع تطور المدن واتساعها تطورت عملية تنقية المياه، ومع تطور الصناعة وملوثاتها تطورت طرق التخلص من تلك الملوثات. أما عملية تعقيم مياه الشرب فعمرها آلاف السنين باستعمال وسائل طبيعية كأشعة الشمس وغلي الماء إلى أن اكتشف الفعل التعقيمي للكلور في نهاية القرن التاسع عشر، ومنذ ذلك التاريخ وهو يستعمل في تعقيم مياه الشرب.

1. 2 حفر المجارير العامة:

عرفت مدينة لندن أقدم مجارير عامة في أوروبا، حيث كانت هناك قنوات لمياه الصرف المنزلية منفصلة عن قنوات مياه الأمطار والمياه الراشحة، وكلها مغطاة تحت سطح الأرض. ونظرا" لضعف ميل الأرض في بعض الأماكن فقد استعملت محركات للضخ في عام 1882(Nivet).
تأثر نابليون الثالث بفكرة إنشاء المجارير العامة عندما كان منفيا" في لندن، وأعطى فور عودته إلى الحكم في فرنسا أمرا" بإقامة مجارير عامة لمدينة باريس. وجرى تنفيذ المشروع على مرحلتين تضمنت المرحلة الأولى المجارير المغلقة والمحفورة تحت سطح الأرض، أما الثانية فتضمنت

إنشاء مجارٍ مفتوحة وعلى اتصال مع الجو الخارجي، مما جعلها مصدرا" للأمراض والروائح وخاصة في سنوات الجفاف(1880). وصدر قانون في عام 1894 ينظم عملية إنشاء المجارير العامة، ويعطي مهلة قدرها ثلاث سنوات لربط كل الأبنية بقنوات مغلقة تحت سطح الأرض.

1. 3 المحاولات الأولى لعمليات الترسـيب والترشــيح:

بدأت فكرة معالجة مياه الصرف بإزالة المواد الصلبة الكبيرة الحجم نسبيا" باستعمال عملية الترقيد، ولكن التجارب والتحاليل الكيميائية أثبتت أن تأثير تلك العملية في درجة التلوث محدود جدا"، مما دعى العاملين في مجال معالجة مياه الصرف إلى إضافة مراحل أخرى لعملية الترقيد، كتحسين طريقة فصل الجسيمات الصلبة عن السائلة، وتعقيم (تطهير) المياه، وفي بداية الأمر استعمل الكلس الحي في تطهير المياه، وظل استعماله ساريا" إلى نهاية القرن التاسع عشر في كثير من محطات المعالجة المخصصة لمياه الصرف، واستُبعد استعمال الكلور والبرمنغنات لارتفاع تكاليف تحضيرها. وفيما بعد استعمل الترشيح في تصفية مياه الصرف على شبك معدني أو خشبي لإزالة الأجسام الصلبة المعلقة ثم استعمال الحصى والرمل الخشن مع تطبيق نظام غسل تلك المرشحات بين حين وآخر بالماء المعالج.
استخدمت عملية الترسيب الكيميائي لأول مرة في عام 1866 بكلور الحديد غير أن استعمالها ظل محدودا" لارتفاع ثمن كلور الحديد في تلك الفترة، واستعملت كبريتات الألمنيوم في عملية الترسيب، غير أن العامل الاقتصادي تدخل مرة أخرى ليحد من تطبيقها على نطاق واسع، وجرت تصفية (300 ألف متر مكعب) من مياه الصرف في عام 1869 باستعمال كبريتات الألمنيوم، واستخدمت عدة طرق للتخلص من الرواسب الناتجة، ومن تلك الطرق التنشيف بالهواء أو الحرارة أو استعمال المرشح الضاغط، غير أن الصعوبات التقنية لبعضها والنتائج السلبية للبعض الآخر أدى إلى التخلي عن تلك المعالجة في كثير من المحطات، وجاءت تلك المحاولات في وقت مبكر جدا"، حيث كانت أسعار المواد الكيميائية عالية جدا" إضافة إلى غياب التقنية القادرة على حل كثير من الصعوبات، ولاسيما التخلص من الرواسب الناتجة بعد عملية الترسيب الكيميائي، ولذلك فشلت تلك العمليات ولم تبصر النور في المجال العملي إلا في القرن العشرين.

بدأت المحاولات الأولى للجمع بين الطريقتين الفيزيائية الكيميائية والحيوية للمعالجة في بداية القرن العشرين (1900)، حيث كتب (GRIMP) عن الأثر السلبي للمعالجة الكيميائية لمياه

الصرف على المعالجة الحيوية. وحدث تطور كبير في تصنيع أحواض الترقيد وجعل قاع الحوض مائلا" (60 درجة) للتخلص من الرواسب، واختراع شفرات تدور في قاع الحوض لتنظيفه باستمرار بطريقة يدوية إلى أن أصبحت آلية في عام 1925، أما استعمال الشبك المعدني في مدخل محطة التصفية فقد ظل دون تطور فترة طويلة مكونا" حاجز حراسة للمحطة من الأجسام الصلبة الكبيرة المحمولة داخل التيار المائي، وكانت عمليات الترسب (Sédimentation) تسمى التطهير(Désinfection), وعرفت عمليات الترشيح (Filtration) باسم عمليات الترسيب (Précipitation).

4.1 تصفية مياه الصرف وإعادة استعمالها في ري المزروعات:

استعملت مياه المجارير العامة منذ القديم في ري الأراضي الزراعية، وقد نقلت الفكرة من الصين إلى أوروبا في القرن السابع عشر، وكانت الصين تستعمل على نطاق واسع المخلفات البشرية والحيوانية كأسمدة عضوية طبيعية في الزراعة، وتطور استعمال تلك الطريقة مع تطور طرق التحليل الكيميائي، حيث أمكن تحديد دور الآزوت والمواد العضوية في تغذية النباتات المروية بمياه المجارير العامة (1832)، وأنشئت شركة إنكليزية في عام 1845 (Metropolitant Swage Monure Company) لتوزيع مياه مجارير مدينة لندن بواسطة أنابيب خاصة على المزارعين حيث جرى مزجها مع مياه الري العادية قبل استعمالها في سقي الأراضي الزراعية، وجرت طريقة التصفية لمياه المجارير العامة باستخدام مساحات واسعة من الأراضي الرملية، وقد أعطت تلك الطريقة نتائج جيدة ومازالت تستعمل حتى يومنا هذا في مناطق محدودة ونذكر منها حقل Reims في فرنسا والذي أنشئ في عام 1885، وكان الاعتقاد السائد أن استخدام الحقول الرملية يمثل ترشيحا ميكانيكيا" لمياه الصرف إلى أن أثبت المجمع الملكي الإنكليزي المختص بمعالجة المياه في تقرير له (1870) أن تلك العملية تتضمن تحولات كيميائية وفيزيائية تؤدي إلى تكوين مركبات مختلفة عن المركبات الأساسية الموجودة في مياه الصرف، وأكد التقرير وجود تفاعلات الأكسدة الكيميائية على نحو ملحوظ ضمن الطبقة الرملية أو الترابية المغمورة بمياه المجارير، وبعد عشر سنوات من تلك النتائج، عُرفت الأحياء الدقيقة الهوائية ولاسيما بكتريا النترجة (1882)، وعممت طريقة التصفية باستعمال التربة على المدن الإنكليزية الأخرى بين عامي 1860 و 1880، كما طبقت تلك الطريقة في مدن أوروبية أخرى، حيث استعمل حقل مساحته 8000 هكتار لتصفية مياه المجارير العامة لمدينة برلين.

بدأت التجربة في مدينة باريس لتصفية مياه المجارير باستعمال حقول زراعية في عام 1867، حيث تم تحويل حقل الرمي القريب من (Gennevilliers) والمكون من أرض رملية إلى أرض

زراعية منتجة للكثير من المزروعات ومروية بمياه المجارير، وجرى توسيع التجربة في عام 1876 لتشمل المنطقة الواقعة في غابة (Saint – Germain)، وترافق هذا التوسع مع ظهور موجة احتجاج كبيرة ضد استعمال مياه المجارير في إرواء الأراضي الزراعية وقاد تلك الحملة تياران هما:

- أصحاب القصور والبيوت القريبة من تلك المناطق، وقد احتج هؤلاء على ظهور التلوث وانتشار الروائح الكريهة مما أفقد تلك المناطق قيمتها السياحية.
- أما التيار الثاني فقد تكون من المدافعين عن البيئة وضم الأطباء والباحثين وعلى رأسهم العالم باستور (Pasteur) وطلابه، وقد طالب التيار الأخير بإقامة قنوات مغلقة لمياه الصرف من مدينة باريس إلى بحر المانش في شمال فرنسا لتصب تلك المياه مباشرة في البحر لتجنب تلوث مياه الأنهار أيضا".

ولكن رغم كل تلك الاعتراضات والاحتجاجات فإن مشروع إرواء الأراضي الزراعية بمياه المجارير العامة (التصفية باستعمال مساحات واسعة) استمر بالتطور والتوسع، حيث قرر في عام 1889 بداية العمل بإحداث حقل جديد قرب مدينة باريس مساحته 5500 هكتار مع تخصيص 40 ألف متر مكعب ماء للهكتار الواحد في العام، مما سمح بتصفية 60% من مياه الصرف لمدينة باريس والبالغة 270 مليون متر مكعب سنويا" في تلك الحقبة، غير أن موجات الاحتجاج ازدادت مع التوسع في إنشاء حقول التصفية ونشر الدكتور غالمت (Galmette) دراسة مستفيضة عن أضرار تلك التصفية وخاصة تأثيرها في نقل البكتريا الممرضة البرازية إلى الخضار المزروعة في تلك الحقول (1901)، مما دعا وزير الفلاحة إلى إصدار أمر يمنع فيه زراعة الخضار في الحقول المستعملة لتصفية مياه المجارير (1901).

وتابع الدكتور (Galmette) أبحاثه في مجال تلوث المياه ليقدم بعد فترة من البحث حلا" للمشكلة بإجراء التصفية الحيوية (استعمال السرير البكتري) على مياه المجارير قبل استعمالها في الري، ولكن لم تجد تلك الفكرة المؤيدين لها، ولم يجرِ تطبيقها إلا بعد سنوات عديدة حيث أصبحت تلك الفكرة حلا" جوهريا" لتصفية مياه الصرف.

بعد فترة الازدهار التي عرفتها طريقة التصفية باستعمال مساحات واسعة من التربة بدأت تنحسر وتختفي ليحل محلها الطرق الأخرى للمعالجة، ولكن عادت تلك الطريقة من جديد في العصر الحالي لتظهر في هيئة حقول تجريبية وأخرى إنتاجية وخاصة لتصفية مياه الصرف لمصانع المواد الغذائية الزراعية، ومنها مصانع الحليب ومشتقاته.

5.1 السرير البكتري (Lit Bactérien):

ترافقت عمليات التصفية باستعمال الحقول الزراعية الواسعة (L' Épandage) مع دراسات مخبرية للتصفية باستعمال أعمدة من التراب أو الرمل (Müller في برلين 1865 و Franklin في لندن 1868)، وبعد سنوات عديدة من البحث توصل العالم (Wartington في عام 1882) إلى نتائج جيدة لعملية أكسدة الآزوت الموجود في مياه الصرف بطريقة الترشيح البطيء على طبقة من الرمل الناعم، وفي الفترة نفسها أعلن الباحث(Latham) عن إنشائه لطبقة صناعية لتصفية مياه الصرف ارتفاعها 1.5 م ومساحة سطحها 400 م^2 وتحتوي في داخلها التراب والفخار المشوي, وتبلغ استطاعة تلك الطبقة تصفية المخلفات السائلة لنحو 15000 نسمة، وأنشأت الولايات المتحدة الأمريكية محطة تجريبية (Lawrence, 1887) لدراسة طرق تصفية مياه الصرف، وكان يعمل فيها اختصاصيون في الكيمياء والمكروبيولوجيا وعلم المياه بإشراف العالم هازن (Allen Hazen). ودرست تلك المجموعة من الباحثين الفعالية الحيوية (الفعالية البيولوجية) عند حدوث عمليات التصفية وتوصلت إلى نتائج جيدة باستعمال الحصى بدل التربة في أعمدة الترشيح البطيء، وأنشىء مرشح مملوء بالحصى يعمل دون توقف، وقد استمرت فترة تجريبه 10 أشهر، وأعطت تلك التجربة شهرة عالمية للمركز المذكور.

واستعمل الباحث الإنكليزي (Dibdin 1892) مواد خاملة حاملة للبكتريا مع ضخ الهواء من الأسفل وإزالة المواد المترسبة، وكتب ذلك الباحث في عام 1897 يقول: (أثبتت التجارب وبصورة أكيدة أن الطريقة الأفضل لتصفية مياه المجارير في حالة غياب المساحات الشاسعة من الأراضي، تتلخص بإزالة المواد الراسبة في المرحلة الأولى، ومن ثم إغناء الماء بالأحياء الدقيقة وبالهواء، حيث تجري عملية التصفية ومن ثم تطرح المياه الناتجة في الأنهار)، ويمكن اعتبار تلك النتائج الإشارة الأولى لطريقة التصفية بواسطة الحمأة المنشطة والتي طبقت بعد 20 عاما" من ذلك التاريخ{41}.

6.1 نظام الدوران أو القرص الحيوي Disque Biologique :

نظرا" للتكاليف العالية للسرير البكتري ولمحدودية الماء المعالج، فقد تم التوجه إلى إحداث أحواض كبيرة للمعالجة تحوي بداخلها أذرعا" متحركة تقوم بعملية تحريك للمياه وتشكل أيضا الحامل البكتري. واستنادا لتلك الفكرة صمم مهندس ألماني (Wiegang 1900) حوضا" تتحرك داخله أذرع مصنوعة من ألواح خشبية، واقترح (Doman 1929) طريقة تجريبية تعتمد

على قرص من الغرافيت مغمور جزئيا" في حوض المعالجة، ويدور القرص عموديا" مما يسمح بتهوية جزء من القرص بينما يكون القسم الآخر مغمورا" داخل الحوض، غير أن وزن القرص الكبير وتكاليفه المرتفعة حالت دون انتقاله للتطبيق الصناعي. ولتوفير استهلاك الطاقة اللازمة لتدوير القرص الحيوي اقترح (Maltby 1930) تكوين قرص على شكل مروحة مؤلفة من شفرات خشبية تدور بفعل التيار المائي, ولكن الصعوبة في التطبيق تمثلت بالتوافق بين سرعة تدفق المياه القادرة على إدارة القرص وزمن التلامس اللازم لحدوث التفاعلات الحيوية. وطورت الطريقة من قِبل (Hartmann – Pöpel 1950) بإدخال المواد البلاستيكية داخل القرص وانتشر استعمالها في المحطات الصغيرة.

7.1 الحمأة المنشطة (الوحل المنشط):

أجريت تجربة على لترين من مياه الصرف الموضوعة في وعاء مع وجود تيار من الهواء في داخله حتى إتمام عملية النترجة، واستغرقت تلك العملية خمسة أسابيع, ثم تركت لترقد وفصل الطور السائل مع الاحتفاظ بالحمأة المنشطة الراسبة في قاع الوعاء، وملئ الوعاء من جديد بمياه الصرف وانطلقت عملية المعالجة من جديد، وكان الزمن المستغرق في المرحلة الثانية أقل من المرحلة الأولى لإتمام عملية النترجة. وبعد تكرار العملية (إزالة الطبقة المائية بعد عملية النترجة وتعويضها بمياه صرف خام) أمكن الوصول إلى زمن قدره 24 ساعة لإحداث الفعل نفسه الذي استغرق خمسة أسابيع في البداية، وهذا عائد إلى زيادة كمية الحمأة المنشطة في الجملة المتفاعلة بحسب (Ardern 1914 و William). ومنذ ذلك التاريخ اصطلح على تسمية الراسب الناتج بالحمأة المنشطة (Boue Activée)، ودخلت تلك الطريقة عالم معالجة مياه الصرف لتصبح خلال فترة قصيرة الطريقة الأكثر انتشارا"، استمرت محاولات (Ardern) لدراسة تأثير العوامل المختلفة على حركية وسرعة التحولات الحادثة (pH الوسط, درجة الحرارة,....،... .) وكيفية تحديد دور الحمأة المنشطة من الناحية الفيزيائية والكيميائية والحيوية والتي تتدخل في عمليات التحول الجارية، وللتأكد من كون الفعل الحيوي هو الأساس في تلك التحولات، أجريت عملية تعقيم للحمأة المنشطة ووجد أنها قد فقدت فعاليتها.

وجرى العمل على تحسين شروط العملية وزيادة كفاءتها، ثم أُنشِئت أول محطة لتصفية مياه الصرف اعتمادا على طريقة الحمأة المنشطة في (Salford) بطاقة إنتاجية قدرها 300 م^3 يوميا"، واستمرت عملية التوسع في إقامة المحطات وزيادة استطاعتها لتصل إلى 660 ألف متر مكعب يوميا في عام 1927 (Chicago) في الولايات المتحدة الأمريكية.

وبعد نهاية الحرب العالمية الأولى, ظهرت مدرستان مختلفتان، تميزت الأولى (الإنكليزية) بالمحافظة على مبدأ النترجة الكاملة المترافقة مع زمن تماس طويل (24 ساعة)، وسميت التهوية المطولة، بينما تميزت المدرسة الثانية (أمريكية) بالاكتفاء بزمن قصير للتماس (3 إلى 6 ساعات)، ولا يزال العمل على تحسين المردود ودراسة العوامل الداخلة في ذلك التحول والمؤثرة في حركية التفاعلات، إضافة إلى إدخال الأجهزة الحديثة في تلك المحطات بحيث تحولت إلى محطات آلية بشكل كامل.

8.1 معالجة الحمأة (Traitement des Boues):

دفع ظهور الطرق الحيوية للمعالجة إلى البحث عن حل مشكلة الحمأة، فكان تحويلها إلى سماد زراعي أو طمرها، أو طرحها في المسطحات المائية كالأنهار والبحيرات.
استعمل موراس (Mouras 1883) طريقة الآبار لحفظ الحمأة فترة زمنية كافية لتخمرها بحيث تكون خالية من الروائح، واقترح إموف (Imhoff 1907) إنشاء حفرة من طابقين, يقوم الطابق العلوي بدور المرقد والطابق السفلي غرفة التخمير، وما زالت الفكرة سائدة حتى اليوم، ثم جرى تطبيق صناعي على الحمأة بتخميرها في حفرة عمقها 3 أمتار(1988)، وأعطت نتائج جيدة ولكن الروائح المنبعثة شجعت على غلق الحفرة (1911)، ثم جمع الغاز الناتج كمصدر للطاقة (Prüss 1920)، وتستعمل اليوم في محطة عدرا بدمشق.

9.1 المحاولات الأولى لتحليل مياه الصرف:

بدأت أولى عمليات تحليل مياه الصرف في منتصف القرن التاسع عشر، وكانت تشمل بعض العناصرالمنحلة(الحديد، البوتاسيوم، الصوديوم، شوارد الكلور، الكالسيوم، وحمض الكربون،....،... .), وقد اكتشف دور الأكسجين المنحل في الماء في عمليات التنقية الذاتية أو عمليات التصفية بحدود عام 1870 واحتل منذ ذلك التاريخ مرتبة هامة في تحليل المياه.
استعملت طريقة الأكسدة بالبرمنغنات في عام 1908 كطريقة جديدة لتحديد استهلاك الأكسجين من قبل العينة المائية لأكسدة المركبات المعدنية والعضوية. علما" أن العالم كيلدال (Kjeldahl) وضع طريقته المشهورة لمعايرة الآزوت في تلك الفترة والتي مازالت تستعمل إلى يومنا هذا.
اكتشفت أول طريقة لمعايرة الأكسجين المنحل في الماء في عام 1888 (Winc Kler)، مما سمح بتطور الأبحاث المتعلقة بدوره في عملية التنقية الذاتية والتصفية الحيوية للماء، كما ساعد

هذا على ظهور مقياس مهم لتلوث المياه وهو الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO)، ويستعمل المصطلح (BOD) باللغة الأنكليزية.
طور الباحثون الإنكليز طريقة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO) بإحداث عملية التمديد للعينة المائية وتحديد شروط القياس والفترة الزمنية للاحتفاظ بالعينة والتي ثبتت بخمسة أيام وهو ما يعرف حتى الآن بالرمز DBO_5 وتم اختيار تلك الفترة الزمنية على أساس أنها تشكل الزمن اللازم لوصول مياه الصرف إلى البحر لأبعد المدن الإنكليزية عنه.
رغم النتائج الجيدة لطريقة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين فقد أبدى واضعها (Adeney 1926) عدم ارتياحه لنتائجها وسعى جاهدا لإيجاد مقياس جديد أكثر دقة للتلوث العضوي، وقد تكللت جهوده بالنجاح عندما اقترح عملية الأكسدة بثنائي كرومات البوتاسيوم في وسط حمضي وهو ما يعرف حاليا" بمقياس الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO)، أو (COD) باللغة الإنكليزية، والذي يشكل نهاية مرحلة القياسات باستعمال الأدوات المخبرية البسيطة (الأدوات الزجاجية) وبداية عصر الأجهزة، حيث تم اختراع جهاز قياس الكربون العضوي الكلي (COT)، ويستعمل المصطلح (TOC) باللغة الإنكليزية، وجهاز قياس الطلب الكلي على الأكسجين (DTO)، أو (TOD) باللغة الإنكليزية.

الفصل الثاني

الخواص الأساسية للمياه الطبيعية

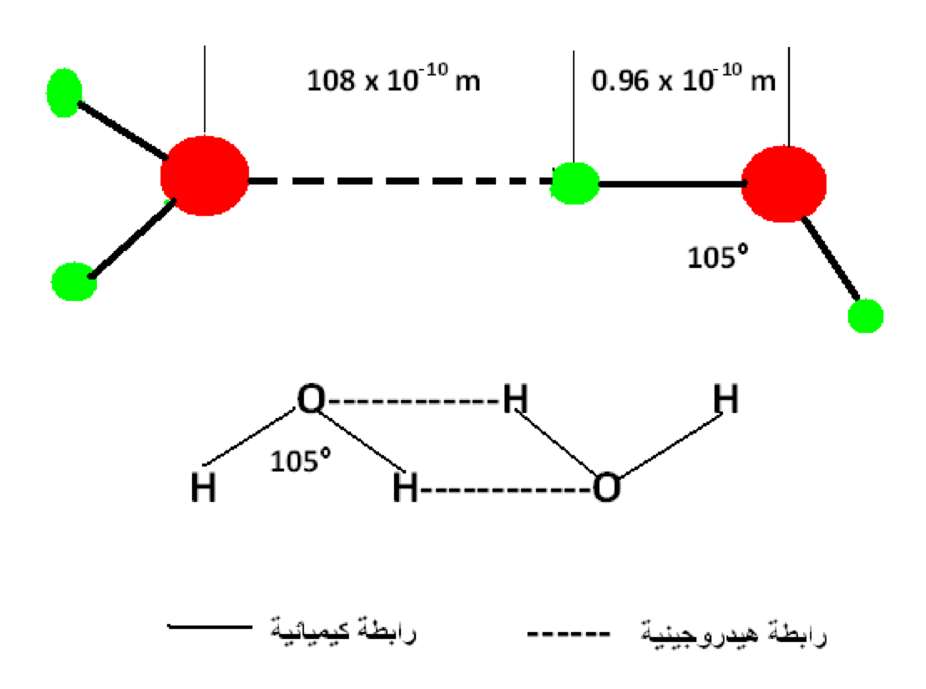
الماء النقي تماما" والخالي من الأملاح والشوائب غير متوافر في الطبيعة نظرا" إلى كون الماء مادة مذيبة للمواد الغازية والسائلة والصلبة. إن مياه الأمطار التي تكون نقية عند تحولها إلى الحالة السائلة تتشبع بالغازات الموجودة في الجو في أثناء سقوطها ولا سيما غازات ثنائي أكسيد الكربون وأكاسيد الآزوت وكبريت الهيدروجين وغيرها من الملوثات الغازية. أما مياه الينابيع والأنهار فإنها تذيب عند عبورها المجاري المائية الكثير من الأملاح المعدنية والمركبات العضوية، لذلك نجد أن المركبات المنحلة في المياه السطحية مختلفة ومتنوعة تبعا" لطبيعة طبقات الأرض التي تعبرها وللبيئة المحيطة بالمجرى المائي، فمنها المواد المعلقة كجسيمات الوحل والمخلفات النباتية والأجسام الحية، ومنها الأملاح المعدنية المنحلة (كلوريدات، كبريتات، كربونات حمضية،...،... .) إضافة إلى مركبات عضوية من أصل نباتي (حموض الدبال) ومن أصل حيواني ناتجة عن تحلل الأجسام الحية في الوسط المائي. كما وتتضمن المياه الطبيعية الغازات المنحلة نتيجة تماسها مع الهواء الجوي، أو تفكك المركبات العضوية أو المعدنية ضمن الوسط المائي (أكسجين، ثنائي أكسيد الكربون، آزوت،...،... .).

يضاف إلى كل ذلك ما يطرحه الإنسان في المياه السطحية من مخلفات منزلية وصناعية، وبالتالي فإن المياه السطحية تتميز باحتوائها مواد معلقة ومواد منحلة، أما المياه الجوفية فإنها تحوي المواد المنحلة فقط نظرا" إلى تعرضها لعملية ترشيح في أثناء عبورها الطبقات الترابية المختلفة.

2. 1 الصفات الفيزيائية للماء:

إن بنية جزيء الماء ذا الصيغة H_2O غير متناظرة، حيث ترتبط ذرتا الهيدروجين بذرة الأكسجين برابطتين تحصران بينهما زاوية قدرها 105 درجة (الشكل 2 - 1)، وإن تلك البنية تعطي جزيء الماء عزما" قطبيا" تجعله محلا" قطبيا" ممتازا". إن الأقطاب المختلفة في جزيئات الماء تتجاذب وتكون تجمعات جزيئية في حالتي الماء السائل والصلب، علما أن الروابط الأساسية بين تلك الجزيئات هي الروابط الهيدروجينية.

يُعدّ التجمع المضاعف $(H_2O)_2$ من أكثر التجمعات ثباتا" لوجود رابطتين هيدروجينيتين بين جزيئين من الماء (الشكل 2 – 1).



الشكل 2 – 1: بنية جزيء الماء.

2. 1. 1 الكثافة:

تؤدي ظاهرة التجمعات الجزيئية إلى ظهور شذوذ في تحولات الكثافة بدلالة درجة الحرارة، حيث تنخفض الكثافة عند عملية تبريد الماء بين الدرجة أربعة مئوية و الدرجة صفر مئوية. يبين الجدول (2 – 1) تحولات كثافة الماء بدلالة درجة الحرارة.

الجدول 2 – 1: كثافة الماء بدلالة درجة الحرارة {120}.

درجة الحرارة المئوية	الكثافة	درجة الحرارة المئوية	الكثافة
0	0.099841	19	0.998406
1	0.9999	20	0.998205
2	0.999941	21	0.997994
3	0.999965	22	0.997772
4	0.999973	23	0.99754
5	0.999965	24	0.997299
6	0.999941	25	0.997047
7	0.999902	26	0.996785
8	0.999848	27	0.996515
9	0.999782	28	0.996235
10	0.999701	29	0.995946
11	0.999606	30	0.995946
12	0.999489	40	0.99222
13	0.999377	50	0.98803
14	0.999244	60	0.98320
15	0.999099	70	0.97778
16	0.998943	80	0.97182
17	0.998775	90	0.96535
18	0.998596	100	0.95840

2. 1. 2 اللزوجة الحركية:

تعبر اللزوجة عن مقاومة السائل للحركة وتتناقص بزيادة درجة الحرارة (الجدول 2 - 2)، بينما تزداد بزيادة درجة ملوحة الماء (الجدول 2 –3).

الجدول 2 – 2: معامل اللزوجة (ميلي باسكال. ثا) بدلالة درجة الحرارة.

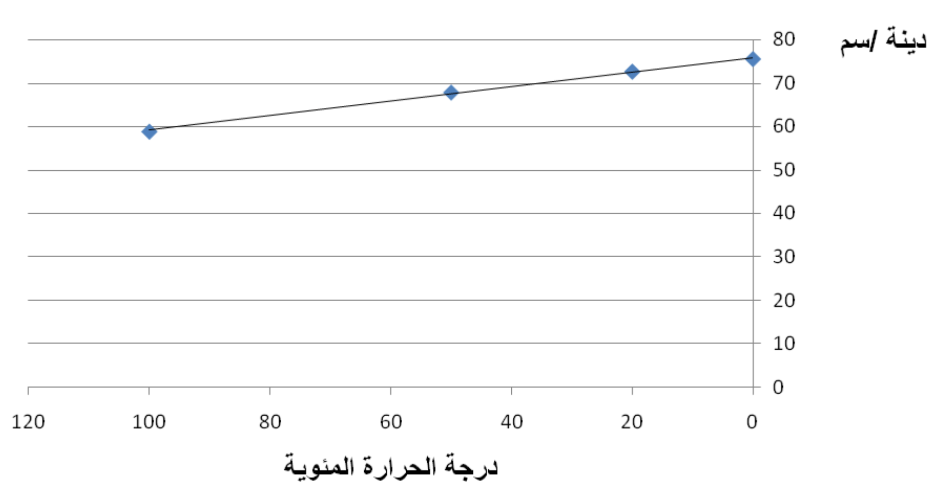
درجة الحرارة ^{o}C	0	5	10	15	20	35
معامل اللزوجة m pa. s	1.797	1.523	1.301	1.138	1.007	0.423

الجدول 2 – 3: معامل اللزوجة بدلالة الملوحة.

الملوحة غ / لتر	0	4	8	12	16	20
معامل اللزوجة m pa. s	1.007	1.021	1.035	1.052	1.068	1.085

2. 1. 3 التوتر السطحي Tension Superficielle:

يُعرَّف التوتر السطحي بأنه القوة المطبقة على واحدة أطوال الخط المحيط بسطح المائع والعاملة على تقليصه، أو الطاقة الحرة الإضافية في واحدة السطوح، أو العمل اللازم لتشكيل واحدة السطوح. إن قيمة التوتر السطحي للماء (γ) تتناقص خطيا" بارتفاع درجة الحرارة (الشكل 2 – 2) حتى تصبح معدومة عند درجة حرارة معينه تسمى الدرجة الحرجة (Tc).



الشكل 2 – 2: علاقة التوتر السطحي بدرجة الحرارة للماء.

إن ارتفاع درجة الملوحة أو تركيز المواد المنحلة في الماء تزيد من قيمة توتره السطحي، أما إضافة المواد الفعالة سطحيا" أي المواد التي تتجمع على سطح الماء فإنها تخفض من قيمة التوتر السطحي.

2. 1. 4 الخواص الكهربائية للماء:

أ) ثابت العزل الكهربائي Constante Diélectrique:

إن قيمة ثابت العزل الكهربائي للماء (ϵ) مرتفعة مقارنة بالسوائل الأخرى وتبلغ قيمتها 80، وبالتالي فإن الماء يمتلك قدرة عالية على تشريد المركبات، إن أفضل طريقة لمعرفة القدرة المشرِّدة لمختلف المحلات هي معرفة ثابت عزلها الكهربائي. ويمكن تعريف ثابت العزل

الكهربائي بأنه قيمة تبين عدد المرات التي تكون فيها قوى التأثير المتبادل بين شحنتين في وسط ما أقل مما هي عليه في الفراغ. إن لثابت العزل الكهربائي للماء علاقة وطيدة مع قطبية جزيئاته حيث يرجع ارتفاع قيمته للماء إلى كبرعزم ثنائية القطب في جزيء الماء.

ب) الناقلية الكهربائية Conductivité Électrique:

يعدَ الماء النقي من النواقل الضعيفة جدا" للكهرباء، ولكن وجود الأملاح المنحلة ولا سيما الأملاح المعدنية يؤدي إلى ارتفاع الناقلية، والحصول على ماء معدوم الناقلية عملية مستحيلة من الناحية التجريبية وأكثر العينات نقاوة أعطت ناقلية قدرها $4,2 \times 10^{-6}$ سيمنز / سنتمتر في الدرجة 20^o م.

يُعدّ معامل الناقلية الكهربائية عاملا" مهما" في مجال تحديد مواصفات الماء لكونه يعبر عن ملوحة الماء، وبالتالي نوعها ومدى صلاحيتها للشرب أو الاستعمالات الأخرى. وكذلك يرتبط هذا المعامل بطرائق المعالجة الممكنة للمياه.

2. 1. 5 الحرارة النوعية:

إن الماء هو أساس قياس الحرارة النوعية للأجسام الصلبة أو السائلة أو الغازية، لأن غراما" واحدا" من الماء في الدرجة 14^o م يحتاج إلى حريرة واحدة ليسخن إلى الدرجة 15^o م. ويسمى هذا المقدار من الحرارة بحرارة الماء النوعية. وتبعا" لذلك تقاس الحرارة النوعية للمواد الأخرى. وتعدَ حرارة الماء النوعية أعلى من الحرارة النوعية لكافة المواد السائلة والصلبة، الأمر الذي يجعله يبرد ببطء في الشتاء ويسخن ببطء في الصيف، وبذلك يتصف بدور المعدّل الحراري على سطح الأرض.

2. 2 الماء والكيمياء:

ينبغي عند دراسة علاقة الماء بالكيمياء أن نؤكد مبدئيا" على ثبات جزيئات الماء في درجات الحرارة المرتفعة. فإذا علمنا أن طاقة تكوين جزيء الماء تساوي 242 كيلو جول / جزيء غرامي (58 كيلو حريره / جزيء غرامي) ندرك هذا الثبات الذي يتمتع به. إن هذا الثبات لجزيء الماء مضافا" إليه الصفات الكهربائية والبنية الجزيئية يجعله مُحلا" جيدا" للعديد من المواد المعدنية والعضوية والغازية.

2. 2. 1 انحلال المواد المختلفة في الوسط المائي:

الانحلال هو توزع جزيئات مادة ما ضمن وسط آخر، أي انتقال المادة من المرحلة النقية ذات البنية المحددة، إلى حالة الجزيئات المنفصلة والموزعة بين جزيئات المحل.
إن جزيئات الجسم الصلب تتمتع بحركة اهتزازية تسهم في عملية الانحلال، فعندما نضع جسما صلبا ضمن وسط قادر على حله، فإن تلك الاهتزازات والفعل المتبادل بين تلك الجزيئات والجسم المحل تؤدي إلى انفصال الجزيئات السطحية من الجسم الصلب وانتشارها في الوسط المحل.
إن الفعل الهيدراتي للماء يتمثل بتحطيم كلي أو جزئي (مبتدئا" بالأضعف) لمختلف القوى الكهربائية الساكنة (Électrostatique) الرابطة بين الذرات والجزيئات للمادة المنحلة وتعويضها بروابط جديدة مع جزيء الماء.

آ) انحلال الأطوار المختلفة:

1) الطور الغازي في الماء:

قابلية الانحلال للغازات تخضع لقوانين هنري (HENRY)، أي أن كمية الغاز المنحلة (V) متناسبة مع معامل الانحلال (α) ومع تركيز الغاز في الطور الغازي (C) الملامس للماء تحت الضغط (P). إن حجم الغاز المنحل بدرجة حرارة معينة يعطى بالعلاقة :

$$V = P \cdot C \cdot \alpha$$

غير أن انحلالية الغازات المختلفة في المياه السطحية متعلقة أيضا" بدرجة الحرارة أساسا"، وكذلك بحمولة الماء من المواد المعلقة والمنحلة.

2) انحلال الطور السائل في الماء:

نظرا" لكون جزيء الماء قطبيا"، فإن قابلية الانحلال لسائل ما في الماء متعلقة بقطبية جزيئات ذلك السائل. إن الجزيئات الحاوية على الجذور أو الشوارد (OH^- , SH^- ,NH_4^+ ,...) تكون شديدة القطبية وبالتالي فإنها تنحل بالماء على نحو ممتاز، بينما تكون السوائل اللاقطبية (فحوم هيدروجينية، زيوت وشحوم،....،... .) ضعيفة الانحلال في الماء.

3) انحلال الطور الصلب في الماء:

يشكل الماء الحاوي على مادة صلبة محلولا" حقيقيا" عندما تكون المادة الصلبة قابلة للانحلال بالماء، أو جملة غروية أو معلقا" عندما تكون تلك المادة ضعيفة الانحلال في الماء. لذلك يمكننا تصنيف تلك الأنواع المختلفة من الجمل (ماء – مادة صلبة) ضمن ثلاثة أنواع أساسية هي:

- **المحاليل الحقيقية أو الجزيئية:** تتمتع هذه المحاليل بالتجانس والاستقرار الترموديناميكي، وتكون إما محاليل شبه بلورية (Cristalloïde) لا تتجاوز أبعاد جزيئاتها النانومتر الواحد، وهي متماثلة من حيث الأبعاد والتركيب الكيميائي. أو محاليل الجزيئات الضخمة (محاليل البوليميرات)، التي تتمتع بالتجانس والاستقرار التكتلي والترموديناميكي، غير أنها تتقارب مع الغرويات بحجم جزيئاتها.
- **المعلقات الغروية أو المحاليل الغروية:** تتألف المادة الغروية من جسيمات صغيرة تتضمن عددا" محددا" من الجزيئات، وتشكل طورا" مستقلا" عن الطور السائل، لذلك فالمحلول الغروي مجموعة غير متجانسة ثنائية أو عديدة الأطوار، على خلاف المحاليل الحقيقية وحيدة الطور. وتمتاز المحاليل الغروية بعدم استقرارها وبعثرتها للضوء وبظاهرة الهجرة الكهربائية مما يؤكد أن الجسيمات الغروية مشحونة كهربائيا".
- **المعلقات (Suspension):** تمثل المعلقات مجموعات طورها المشتت صلب وسط طور سائل، وهي غير مستقره وتترسب بسرعة، ويوضح الشكل (2 – 3) سلم أبعاد الجسيمات في محاليل الجمل المختلفة الواردة أعلاه.



الشكل 2 – 3 : الحالة المشتتة والحالة المنحلة.

تختلف نوعية وأبعاد الجسيمات المعلقة في المياه السطحية، وتتكون أساسا" من الكوارتز والتراب والأملاح المعدنية غير المنحلة وجسيمات عضوية حيوية أو ناتجة عن تفكك البقايا النباتية والحيوانية.

ب) الألفة المائية Hydrophilisation:

تختلف انحلالية مادة معينة من محل لآخر، فكلور الصوديوم ينحل بالماء أكثر بكثير من انحلاله في الكحول، بينما ينحل البارافين بالبنزن ولا ينحل بالماء. إن قابلية الانحلال بالماء متعلقة بطبيعة الجسم المراد حله، أو على الأقل بالزمر الوظيفية الداخلة في تركيبه. فهناك زمر أليفة للماء مثل (OH -) وزمر كارهة للماء مثل (CH_3 -) وفي حالات خاصة فإن عملية الذوبان أو التبلل تتم بمساعدة مركب ثالث نسميه عادة:

- مساعد الانحلالية (Solubilisant) في حالة المحاليل الحقيقية.
- مستحلِب (Émulsionnant) في المستحلبات.
- مببتز (Reptisant) في المحاليل الغروية.
- عامل مبلل (Agent de Mouillage) عندما يستعمل لتغيير المواصفات السطحية للجسم الصلب وجعله قابلا" للتبلل بالماء.

إن هذه المركبات الوسيطية في عملية الإذابة تحدث روابط حقيقية بين الجسم المراد إذابته والمحل ذاته. تحتوي تلك المركبات الوسيطية في أحد طرفيها زمرة أليفة للماء تساعد على الانحلال، وفي الطرف الآخر زمرة ترتبط مع الأجسام المشتتة بروابط كيميائية أو تجميعية وبالتالي فإن الجملة المتشكلة تكون أكثر ألفة للماء من الجزيء الأصلي للجسم المشتت.
وتوجد من ناحية أخرى مواد تخفض من الألفة المائية، وذلك بتحطيم الروابط القائمة بين المحل والمادة المنحلة. تلك المواد تكون في هيئة مرسبات (Précitpants) أو مخثرات (Coagulants) أو مكتلات (Floculants)، أو مكثفات (Épaissisants)، أو موهنات التبلل (Déprimants du Mouillage). هذا التحطيم للروابط يمكن أن يحدث بفعل كيميائي (نزع الشوارد الهيدروكسيلية من الجزيء المنحل)، أو تحطيم الروابط التجميعية نصف الأليفة للماء بتعديل الزمرة الأليفة للماء، أو تثبيت زمرة كارهة للماء(Hydrophobe) على جزيء المادة المنحلة. ويمكن أن يحدث التحطيم بفعل الروابط الكهربائية الساكنة القائمة بين المحل والمادة المنحلة بإحداث تعديل للشحنات الكهربائية المسؤولة عن تلك الروابط.

ج) التركيز:

تقاس تراكيز العناصر المختلفة في الماء، ويعبر عنها بواحدات متنوعة أهمها:

1) **الواحدات الوزنية:** تشمل الواحدات الوزنية المليغرام في اللتر والميكروغرام في اللتر والنانوغرام في اللتر، ويستعمل أي منها تبعا" لتركيز العناصر. الوحدة الأكثر استعمالا" هي المليغرام في اللتر المطابقة للجزء في المليون (ppm)، أما استعمال الميكروغرام في اللتر (جزء في البليون ppb) أو النانوغرام في اللتر فإنها تنحصر في تراكيز الملوثات الزهيدة التركيز في المياه.

2) **الواحدات العلمية:** تشمل الواحدات العلمية المول في اللتر أو المكافئ غرامي في اللتر وأجزاءهما (ميلي مول، ميلي مكافئ غرامي، ميكرومول، .).

3) **الواحدات التقنية:** تعادل الدرجة الفرنسية (F°) خُمس الميلي مكافئ غرامي في اللتر (0,2 ميلي مكافئ غرامي في اللتر). فإذا كان لدينا محلول من كربونات الكالسيوم تركيزه 10 مغ/ لتر فإنه يعادل 0,1 ميلي مول في اللتر، أي 0,2 ميلي مكافئ غرامي، وهذا بدوره يعادل درجة فرنسية واحدة. كما وتستعمل الدرجة الألمانية التي تعادل 1,786 درجة فرنسية. أو الدرجة الإنكليزية المعادلة 1,428 درجة فرنسية.

2. 2. 2 التشرد Ionisation:

عندما تنحل الكهرليتات في الماء تتفكك جزيئاتها، بدرجة كبيرة أو صغيرة، إلى شوارد أو دقائق مشحونة كهربائيا". إن الكهرليتات في الحالة السائلة (محاليل) مؤلفة من نوعين من الشوارد حيث تحمل إحداهما شحنة موجبة وتحمل الثانية شحنة سالبة. الشاردة الموجبة في الحموض والأسس والأملاح هي الهيدروجين أو المعادن، أما الشاردة السالبة فهي جذر الحمض أوالهيدروكسيل.

إن بعض الحموض والأسس تتشرد تماما" ولذلك نسميها الكهرليتات القوية، أما الكهرليتات الضعيفة فإنها تتشرد جزئيا" كحمض الخل على سبيل المثال. لذلك يجب الفصل بين الحموضة الكلية المتعلقة بالشوارد (H^+) الممكنة، والحموضة الحرة المتعلقة بالشوارد (H^+) الموجودة فعلا في المحلول.

إن الماء يتشرد جزئيا" حسب المعادلة الكيميائية العكوسة الآتية:

$$H_2O \leftrightarrows H^+ + OH^-$$

بتطبيق قانون فعل الكتلة على تشرد الماء نحصل على العلاقة الآتية:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

ولما كانت درجة تشرد الماء ضعيفة جدا" فإننا نفترض أن تركيز جزيئات الماء غير المشردة مقدار ثابت. وهكذا نبدل الثابت (K) بالثابت (K_e) المسمى الجداء الشاردي للماء:

$$K_e = [H^+][OH^-]$$

تبين هذه المعادلة أنه في حالة الماء والمحاليل الممددة يكون لجداء تراكيز شوارد الهيدروجين والهيدروكسيل قيمة ثابتة مادامت درجة الحرارة ثابتة. إذا كان الماء نقيا" فإن قيمة ذلك الجداء

يساوي (10^{-14}جزيء غرامي /لتر) في الدرجة 25 مئوية. وتركيز كل من شوارد الهيدروجين والهيدروكسيل تساوي (10^{-7} جزيء غرامي / لتر). يعطي الجدول (2 – 4) قيم الجداء الشاردي بدلالة درجة الحرارة.

الجدول 2 – 4: ثابت الجداء الشاردي للماء بدلالة درجة الحرارة.

درجة الحرارة المئوية	صفر	18	25	50	100
$Ke \times 10^{+14}$	0.12	0.59	1.04	5.66	5.85
pKe	14.93	14.23	13.98	13.25	12.24

تسمى المحاليل التي تتساوى فيها تراكيز شوارد الهيدروجين وشوارد الهيدروكسيل والتي يكون مقدار كل منها مساويا" (10^{-7}) شاردة غرامية في اللتر بالمحاليل المعتدلة، أما في المحاليل الحمضية فإن تركيز شوارد الهيدروجين يكون أعلى من تلك القيمة، ويكون تركيز شوارد الهيدروكسيل أكبر من (10^{-7}) شاردة غرامية في المحاليل القاعدية. ولكن مهما كانت طبيعة المحلول فإن جداء تركيز شوارد الهيدروجين وشوارد الهيدروكسيل يجب أن يبقى ثابتا". وقد استبدلت تراكيز شوارد الهيدروجين بلوغاريتم التركيز مع عكس إشارته، وسميت هذه القيمة دليل شوارد الهيدروجين (pH).

2. 2. 3 القوى الحمضية والقوى الأساسية في محلول مائي:

الحمض هو الجسم القادر على إعطاء شوارد الهيدروجين، والأساس هو الجسم القادر على تثبيت تلك الشوارد:

$$\text{حمض} + H_2O \rightleftarrows H^+ + \text{أساس}$$

بتطبيق قانون الكتلة وباعتبار أن تركيز الماء ثابت نحصل على العلاقة التالية:

$$K = \frac{[H^+]\,[\text{أساس}]}{[\text{حمض}]}$$

حيث: K يرمز إلى ثابت الألفة للثنائي حمض – أساس (Constante d'Affinité).

انطلاقا من قيمة (pK) يمكن حساب قيمة (pH) لمزيج من الحمض والأساس والأملاح الموافقة لها:

- (pH) لمحلول حمضي ذي تركيز قدره (c) يعطى بالعلاقة:

$$pH = \frac{1}{2}(pK_a - \log c)$$

- (pH) لمحلول قاعدي ذي تركيز قدره (c) يعطى بالعلاقة:

$$pH = 14 - \frac{1}{2}(pK_b - \log c)$$

- (pH) لمحلول حمضي ضعيف تركيزه (c_1) وملحه ذو تركيز قدره (c_2) يعطى بالعلاقة:

$$pH = pK_a - \log(c_1 / c_2)$$

- (pH) لمحلول قاعدي ضعيف تركيزه (c_1) وملحه ذو تركيز قدره (c_2) يعطى بالعلاقة التالية:

$$pH = 14 - pK_b + \log(c_1 / c_2)$$

المحلول الموقي (Solution Tampon):

يطلق اسم المحلول الموقي على مزيج من حمض ضعيف وملحه المحلولين في الماء. و يؤدي هذا النوع من المحاليل إلى تغيرات طفيفة في قيمة دليل الهيدروجين عند إضافة حمض قوي أو أساس قوي إليه، فعلى سبيل المثال فإن إضافة (0.1) جزيء غرامي من حمض كلور الماء إلى لتر من الماء النقي يخفض قيمة دليل الهيدروجين بمقدار خمس واحدات، بينما إضافة الكمية نفسها إلى محلول من حمض الخل وخلات الصوديوم المتساوية التركيز (0.1 جزيء غرامي / لتر) لا يغير قيمة (pH) إلا بمقدار (0.09) وحدة قياس (تتحول من 4.73 إلى 4.64).

إن هذه الخاصية للمحاليل الموقية ذات أهمية بالغة في التفاعلات الكيميائية ضمن الوسط المائي، وخاصة التفاعلات التي تتطلب تثبيت قيمة (pH) الوسط.

2. 3 الماء وعلم الأحياء:

إن الصفات الفيزيائية والكيميائية للماء بالإضافة إلى العوامل الجوية وقابلية الماء لحل كميات معتبرة من غاز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون، كل ذلك يشكل شروطا" جد ملائمة للكائنات الحية لتتكاثر في الوسط المائي. كما ويعتبر الماء وسطا" ناقلا" للمواد العضوية والمعدنية المفيدة والمغذية للكائنات الحية التي تعيش ضمنه أو خارجه، ولكن تحول الماء إلى مجال لطرح المخلفات الحضرية والصناعية جعل منه وسطا" لنقل السموم والمواد الضارة أيضا".

2. 3. 1 الماء والاستقلاب الخلوي:

تستمد الأحياء مواردها الضرورية لتناميها واستمرارها من الوسط المحيط، فهي ذاتية التغذية (Autotrophes) وتحصل على الطاقة اللازمة لها من الضوء أو المواد الكيميائية، بينما تعتمد غيرية التغذية (Hétérotrophes) على المواد المغذية، وهناك مجموعة تتطفل على الأحياء الأخرى. والاستقلاب (Métabolisme) هو مجموع التفاعلات التي تترافق مع أخذ أو إعطاء طاقة للوسط، وتُقسم إلى نوعين:

- البناء (Anabolisme)، أي تمثيل المواد الغذائية وتحويلها إلى مادة حية وطاقة كامنة.
- الهدم (Catabolisme)، أي عملية تحلل المواد الغذائية وتحولها إلى عناصر بسيطة مع إصدار للطاقة.

ويمثل المخطط الوارد في الشكل (2 – 4) مجمل العمليات الواردة أعلاه.



الشكل 2 – 4: عمليات التغذية في البيئة الحية.

آ) البناء Anabolisme :

- التركيب الضوئي: يعتمد التركيب الضوئي على الطاقة الشمسية، وهو من أهم العمليات الحيوية في الطبيعة من الناحية الكمية.
- أكسدة وإرجاع المركبات المعدنية: يوجد نوع من الأحياء الذاتية التغذية التي لا تتمكن من الحصول على الطاقة الشمسية، ولذلك تلجأ إلى استعمال طاقة التفاعلات الكيميائية الناتجة عن عمليات الأكسدة والإرجاع للمركبات المعدنية. نذكر من تلك الأحياء الدقيقة النتروزوموناس (*Nitrosomonas*) التي تحول الأمونياك إلى نتريت، والنتروباكتر (*Nitrobacter*) التي تحول النتريت إلى نترات، والبكتريا الحديدية والمنغنيزية (*Ferrogineuses , Manganiferes*) التي تؤكسد شوارد الحديدي وشوارد المنغنيز وتحولها إلى درجة أكسدة أعلى، أما البكتريا الكبريتية فإنها بكتريا مؤكسدة أو مرجعة.

إن مجمل تلك العمليات البكترية مهمة جدا" في مجال معالجة المياه.

ب) الهدم Catabolisme:

الهدم هو تحلل(تفكك) المركبات العضوية المعقدة وتحولها إلى مركبات بسيطة باستعمال الطاقة الكيميائية. تجري عملية التحلل في وسط هوائي (Aérobie) أو في وسط لاهوائي (Anaérobie)، وفي الحالتين تحدث عملية نزع الهيدروجين من المركب العضوي، فإذا ما انضم الهيدروجين المحرر إلى ذرة أكسجين سميت العملية تحلل هوائي، أما إذا انضم الهيدروجين إلى عناصر أخرى غير الأكسجين سميت العملية تحلل لاهوائي. على سبيل المثال فإن الغلوكوز يتحول في الحالتين إلى ثنائي أكسيد الكربون:

- **الحالة الهوائية:**

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + 2.72\ Kj / mol$$

- **الحالة اللاهوائية:**

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3\,CO_2 + 3\,CH_4 + 144\ J / mol$$

إن الحرارة المحررة في العملية اللاهوائية تعادل فقط 5.3% من الحرارة المحررة في العملية الهوائية. وبما أن العملية بمجملها تعتمد على تركيز البكتريا الفعالة في الوسط، تلك البكتريا التي تحتاج للطاقة المولدة للتكاثر، ونظرا لأن الطاقة اللازمة لتكوين خلية واحدة في الحالتين متقاربة، فإن الحالة الهوائية اقتصادية من الناحية الطاقية أكثر بكثير من اللاهوائية.

2. 3. 2 الماء كوسط لتكاثر الأحياء الدقيقة:

يعدَ الماء وسطا" مهما" لتكاثر وانتقال العديد من الأحياء الدقيقة، ونظرا" لزيادة كميات الماء المستعملة من قبل الإنسان، فقد أصبح من الضروري الكشف عن كافة أنواع البكتريا الممرضة (Pathogènes) ومحاربتها في وسط وجودها، ولكن لابد من الإشارة إلى أن الماء يحتوي أيضا" أحياء دقيقة أخرى تؤدي دورا" إيجابيا" في حياة الإنسان، ومن الممكن الاستفادة منها والعمل على تكاثرها. إن البكتريا تقوم بدور مهم ضمن الوسط المائي، وهي لا تعيش إلا في ظروف ملائمة (pH, ملوحة، كمون الأكسدة والإرجاع، درجة الحرارة، أكسجين،... .).
يوجد في المياه الطبيعية أنواع مختلفة من البكتريا يصعب تحديدها تماما" أو عزلها وتعريفها جميعها، ولكن هناك عدة طرائق لتصنيفها:

- **تصنيف البكتريا اعتمادا على شكلها:** العصيات (Bacilles)، المكوّرات (Coccies)، الحلزونيات (Spirilles).

- **تصنيف البكتريا اعتمادا على مصدر طاقتها:** هوائية، لاهوائية.

- **تصنيف البكتريا بحسب مصدر غذائها:** ذاتية التغذية (Autotrophes) التي تصنع البروتينات انطلاقا" من العناصر المعدنية والضوء والماء، أوغيرية التغذية (Hétérotrophes) التي تحول المواد العضوية المعقدة إلى مواد بسيطة.

- **تصنيف البكتريا تبعا لمصدرها:**

▪ البكتريا الرمية هي التي تعيش بشكل طبيعي في التربة والماء، وتشارك بفعالية في عملية التحلل العضوي، ونذكر منها (*Serratia , Sarcina , Alaligenes , Achromobacter , Bacillus , Pseudomonas*).

▪ البكتريا الدخيلة، والمقصود بها تلك البكتريا المطروحة إلى المياه الطبيعية عرضيا"، وهي لا تشارك في العمليات الحيوية داخل الماء، بل تنتظر في الوسط المائي ريثما تنتقل إلى الوسط الملائم لها، وهذا الوسط يكون عادة الإنسان أو الحيوان. إن مصدر هذا النوع من البكتريا يمكن أن يكون مياه الفيضانات أو مخلفات المسالخ والمستشفيات وغيرها. وهي تسبب الكثير من الأمراض نذكر منها: التيفوئيد (Typhoïde)، وداء السلمونيلات (Salmonelloses) الذي يصيب الحيوانات في أمعائها، والزحار (Dysenteries) والكوليرا.

2. 4 المواد المنحلة في المياه السطحية:

الماء مذيب جيد لكثير من المواد، لذلك فإن وجوده بشكل نقي غير وارد في الطبيعة، حتى إن مياه الأمطار التي تعدَ أنقى أنواع المياه الطبيعية تحتوي على بعض الغازات والأتربة الموجودة في الجو.

المياه الطبيعية الموجودة، إما أن تكون جوفية محفوظة داخل طبقات الأرض العميقة أو القريبة من السطح التي تظهر أحيانا" في صورة ينابيع، وإما سطحية تتضمن مياه البحار والبحيرات والأنهار والسدود السطحية، إضافة إلى الجبال الجليدية.

تختلف المياه الجوفية باختلاف الطبقات الأرضية التي تحفظها، ولاسيما تركيب تلك الطبقات، فإذا كانت من النوع البازلتي أو الغرانيتي ضعيفة الانحلال يكون الماء قليل القساوة. أما الماء الموجود ضمن الطبقات الكلسية شديدة الانحلال فيكون شديد القساوة. وعموما"، فإن المياه الجوفية العميقة، تكون أكثر معدنية وأكثر غنى بغاز ثنائي أكسيد الكربون نتيجة وجودها تحت ضغط عالٍ يساعد على عملية الانحلال، وتكون تلك المياه خالية من الجراثيم ودرجة حرارتها مرتفعة، وتحتوي في معظم الأحيان غاز كبريت الهيدروجين، ويجري الحصول على هذه المياه عن طريق الآبار العميقة، وفي حالات نادرة تظهر في صورة ينابيع كبريتية.

أما الطبقة الجوفية القريبة من سطح الأرض التي تتغذى بمياه الأمطار، وتظهر على هيئة ينابيع فقد كانت أهم المصادر الأساسية لمياه الشرب في العديد من مدن العالم، غير أن ازدياد عدد السكان من ناحية، وتقدم طرائق التنقية من ناحية أخرى، أدت إلى ارتفاع كبير في نسبة مياه الأنهار والبحيرات المصفاة والمستعملة كمصدر لمياه الشرب والاستهلاكات المنزلية والصناعية. ولم يقتصر الأمر على مياه البحيرات فقد امتدت يد الإنسان إلى مياه البحار لتحولها إلى مياه صالحة للشرب، وتغذي حاليا" عددا" كبيرا" من المدن في العالم وخاصة مدن الخليج العربي.

تتميز المياه السطحية (الأنهار والبحيرات) بارتفاع نسبة غاز الأكسجين، وانخفاض نسبة ثنائي أكسيد الكربون المحلولين بداخلها، وذلك لكونها على توازن مع الهواء الجوي، إضافة إلى ارتفاع نسبة العكارة ووجود أحياء دقيقة. أما المواد العضوية المنحلة في المياه السطحية فإنها تختلف باختلاف المناطق التي تعبرها.

2. 4. 1 الغازات المنحلة:

تنحل الغازات الموجودة في الهواء الجوي في مياه الأمطار والمياه السطحية. وبالتالي فإن الغازات المنحلة في المياه السطحية هي: الأكسجين والآزوت وغاز ثنائي أكسيد الكربون وغاز كبريت الهيدروجين. ويخضع الانحلال إلى التوازن القائم بين سطح الماء والهواء، وهي خاضعة لقانون هنري(Henry) وتتناسب مع الضغط الجزئي للغاز في الهواء الجوي كما هو وارد في المعادلات الآتية:

$$O_2 \leftrightarrow O_2 \qquad P_{O2} = Ho\,[\,O_2\,]s$$

$$N_2 \leftrightarrow N_2 \qquad P_{N2} = H_N\,[\,N_2\,]s$$

$$CO_2 \leftrightarrow CO_2 \qquad P_{CO2} = Hc\,[\,CO_2\,]s$$

الطور الغازي   الطور السائل

حيث تمثل Px الضغط الجزئي للغاز x وتمثل Hx ثابتا" متعلقا" بدرجة الحرارة، كما أن] X]s ترمز للانحلالية.

ينتج عن انحلال غاز ثنائي أكسيد الكربون في الماء حمض الكربون H_2CO_3، ولذلك فإن تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون في الماء يشكل مجموع الجزء الحر وحمض الكربون. وتتعلق قيمة الثوابت Hc , H_N , Ho بدرجة الحرارة ولا تتعلق بالقوى الشاردية للمحلول. ويعطي الجدول (2 – 5) قيم تلك الثوابت بدلالة درجة الحرارة تحت ضغط أقل من 10 بار. لنعتبر أن الضغط الجوي مساويا إلى واحد ضغط جو أي(1.0133) بار، فإن هذه القيمة تشكل مجموع الضغوط الجزئية للأكسجين والآزوت وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء. وإذا فرضنا أن نسبة الأكسجين في الهواء الجوي 20,9% ونسبة الآزوت 70,1% فإنه بالإمكان تقدير قيم الضغوط الجزئية لكل منهما بدلالة درجة الحرارة. يعطى لغاز ثنائي أكسيد الكربون عادة ضغطا" جزئيا" مساويا" إلى القيمة 3×10^{-4} بار، وبافتراض أن الهواء الملامس لسطح الماء مشبع بالبخار، فقد تم حساب الضغوط الجزئية بدلالة درجة الحرارة كما هي واردة في الجدول (2– 6).

الجدول 2 – 5: قيم ثوابت هنري (بار. لتر / مغ) بدلالة درجة الحرارة.

درجة الحرارة م°	5	15	25	60
$Ho \times 10^3$	16.74	20.65	24.75	37.04
$H_N \times 10^3$	39.08	48.07	56.51	78.18
$Hc \times 10^3$	0.364	0.5077	0.6835	1.414

الجدول 2 – 6: الضغوط الجزئية للغازات المكونة للهواء الجوي بدلالة درجة الحرارة.

درجة الحرارة م° / الضغط الجزئي بار	5	15	25	60
$P\ O_2$	0.210	0.208	0.205	0.170
$P\ N_2$	0.794	0.788	0.776	0.643
$P\ CO_2$	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
$P\ H_2O$	0.009	0.017	0.032	0.2
P	1.0133	1.0133	1.0133	1.0133

ويمكن حساب انحلالية كل من الغازات السابقة في الماء باستعمال قانون هنري، بعد معرفة ضغوطها الجزئية، وهذا ما يعطيه الجدول (2 – 7).

الجدول 2– 7: انحلالية الغازات مقدرة بالواحدة مغ / لتر بدلالة درجة الحرارة.

درجة الحرارة م° / الانحلالية مغ / لتر	5	15	25	60
$[\ O_2\ ]s$	12.75	10.07	8.28	4.59
$[\ N_2\ ]s$	20.3	16.4	13.7	8.2
$[\ CO_2\ ]s$	0.82	0.59	0.44	0.21

نلاحظ من المعطيات الواردة في الجدول السابق أن:

- انحلالية الغازات تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة.
- غاز الآزوت أقل انحلالية من الغازات الأخرى، غير أن ارتفاع نسبة الآزوت المنحلة في الماء يعود إلى ارتفاع ضغطه الجزئي في الهواء. بينما يحدث العكس لغاز ثنائي أكسيد الكربون شديد الانحلالية في الماء، غير أن ضغطه الجزئي في الهواء صغير جدا" مما يؤدي إلى وجوده بتراكيز ضعيفة داخل الوسط المائي.
- تمثل تلك المعطيات الحالة المثالية لتماس الهواء مع السطح المائي، وهذه الحالة غير موجودة فعليا" في الطبيعة نظرا" إلى تدخل عوامل خارجية كوجود الأحياء الدقيقة في الوسط المائي، وتأثير مخلفات الإنسان المطروحة إلى الوسط المائي. كما يجب الأخذ في الحسبان حركية انتشار الغازات ضمن الوسط المائي. ويعطي القانون التالي سرعة انتشار الغازات ضمن الوسط المائي:

$$dc/dt = K\ell .\ a\ (Cs - C)$$

حيث إن dc/dt : تدرج التركيز بدلالة الزمن.

Cs : التركيز الإشباعي للغاز في الماء.

$K\ell$: معامل الانتشار الكلي.

C : التركيز الحالي للغاز في الوسط المائي.

a : السطح النوعي للتبادل.

كما ويؤدي عامل اضطراب الوسط دورا" أساسيا" في عملية الانحلال (شلالات، مياه ساكنة، جريان سريع،...،... .).

يعد تركيز غاز الأكسجين في الوسط المائي الطبيعي مهما" جدا" لدراسة التلوث العضوي. ويتعلق تركيزه بثلاثة عوامل أساسية هي:

- سرعة انتشار غاز الأكسجين الهوائي في الماء.
- استهلاك الأكسجين المذاب في الماء من قبل الكتل الحية ولا سيما البكتريا التي تؤدي دورا" في التحلل الحيوي للمواد العضوية المنحلة أو المحمولة في الوسط المائي.
- تنتج النباتات المائية الأكسجين من خلال عملية التركيب الضوئي التي تتعلق كميته بكثافة النباتات المائية وشدة الضوء.

تؤدي تلك العوامل مجتمعة إلى تحولات كبيرة في تركيز الأكسجين المذاب، حيث يتحول إلى درجة الإشباع في وسط النهار وإلى تركيز خفيف في الليل ضمن المسطحات المائية الحاوية على نباتات مائية.

أما تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون في الماء فإنه دوما" أعلى من القيمة النظرية المعتمدة على التوازن الترموديناميكي مع الهواء الجوي التي تبلغ 0,59 مغ / لتر في الدرجة 15°م وتتعلق نسبته بعوامل أساسية أهمها:

- تحلل المركبات العضوية بفعل البكتريا الهوائية أو اللاهوائية.
- عمليات التركيب الضوئي المستهلكة لغاز ثنائي أكسيد الكربون.
- يؤثر العاملان السابقان في التوازن الكربوناتي القائم في الوسط المائي وفق المعادلة:

$$\mathbf{Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2CO_3\ (CO_2 + H_2O)}$$

إن توليد غاز ثنائي أكسيد الكربون نتيجة العمليات الحيوية في الوسط المائي، يؤدي إلى انزياح التفاعل أعلاه باتجاه تكوين الكربونات الحمضية، بينما يؤدي اختفاء ثنائي أكسيد الكربون نتيجة عملية التركيب الضوئي إلى انزياح التفاعل باتجاه تفكك الكربونات الحمضية وترسب

الكربونات، ويؤدي ذلك إلى تناقص معيار قلوية الماء (Titre Alcalimétrique) ومعيار القساوة (Titre d'Hydrotimétrique) .

أما الاضطرابات التي يتعرض لها تركيز غاز الآزوت في الماء فإنها ناتجة عن العوامل الآتية:

- تقوم بعض أنواع البكتريا بتحويل غاز الآزوت إلى آزوت عضوي.
- تقوم أنواع من البكتريا بتحويل آزوت النترات إلى غاز الآزوت.
- إذا تعرضت المياه الطبيعية للمعالجة في محطات التصفية فيحدث تغير في تركيز غاز الآزوت في الماء.

2. 4. 2 الأملاح المنحلة:

تختلف المواد الصلبة المنحلة في المياه السطحية باختلاف الطبيعة الجيولوجية للمجرى المائي، ولكن هناك الكثير من الأملاح المشتركة والموجودة في المياه السطحية بشكل عام. وتنتج تلك الأملاح عن انحلال بعض أنواع الصخور خلال تلامسها مع الماء عند جريانه ضمن الطبقات الصخرية أو على سطحها. ومن أهم الأملاح المنحلة في المياه السطحية نذكر: كربونات الكالسيوم الحمضية، كربونات المغنزيوم الحمضية، كربونات الصوديوم الحمضية، كربونات الحديدي الحمضية، كربونات المنغنيز الحمضية، كلور الكالسيوم، كلور المغنزيوم، كلور الصوديوم، كبريتات البوتاسيوم، سيليكات الصوديوم، كبريتات الكالسيوم، كبريتات المغنزيوم، كبريتات الصوديوم، حمض السيليس، أملاح النترات والنتريت والفلور. كما تحتوي المياه السطحية الطبيعية كثيرا" من المركبات العضوية المنحلة والناتجة عن انحلال البقايا النباتية والحيوانية وأهمها مركبات الدبال (Matières Humiques).

تؤدي بعض العناصر المنحلة في الماء أدوارا" متشابهة في عمليات المعالجة للمياه، ولذلك يمكن التعبير عنها بمعايير عامة وشاملة، ونورد في الجدول (2 – 8) تلك المعايير المستعملة.

الجدول 2 – 8: المعايير العامة للتعبير عن قساوة وملوحة الماء.

الشوارد الموجبة	الشوارد السالبة
القلوية الترابية: Ca^{++} Mg^{++} معيار القساوة: TH	القاعدية: OH^-, CO_3^{--}, HCO_3^- معيار قلوية الماء: TA معيار قلوية الماء الكلية: TAC
القلويات: Na^+ , K^+	الشوارد السالبة القوية: SO_4^{--}, Cl^- NO_3^- معيار الحموضة الشديدة: TAF معيار الملوحة القوية: SAF معيار الحموضة: TACi
الملوحة الكلية STC	الملوحة الكلية STA

يوضح الجدول السابق أنه في الإمكان تصنيف الشوارد الموجودة في الوسط المائي ضمن أربعة أنواع رئيسية هي:

- الشوارد الموجبة للعناصر القلوية وخاصة الصوديوم والبوتاسيوم.
- الشوارد الموجبة للعناصر القلوية الترابية وخاصة الكالسيوم والمغنزيوم والتي تعطي للماء قساوته. ويعبر عنها بمعيار قساوة الماء (TH).
- الشوارد السالبة للهيدروكسيل والكربونات والكربونات الحمضية والتي تعطي للماء قلويته، ويعبر عنها بمعيار قلوية الماء (TA) ومعيار قلوية الماء الكلية (TAC).
- الشوارد السالبة للحموض القوية كشوارد الكبريتات والكلوريد والنترات، ويعبر عنها بمعيار الحموضة (TACi) أو معيار الحموضة الشديدة (TAF) أو الملوحة الناتجة عن الشوارد القوية (SAF).

عندما تستعمل نفس الواحدات, فإن تقدير الملوحة الكلية (ST) انطلاقا" من الشوارد الموجبة (STC) أو من الشوارد السالبة(STA) يؤدي إلى نتيجة واحدة، لذلك يمكن استعمال العلاقة الآتية:

$$STC = STA = TAC + TACi$$

آ) الملوحة الكلية والناقلية الكهربائية النظرية:

تعدّ عملية تبخير العينة المائية ووزن البقايا الصلبة الطريقة الأفضل لتحديد الملوحة الكلية، غير أن هذه الطريقة تترافق مع أخطاء كثيرة أهمها:

- تؤثر عملية التبخير في تركيب بعض الأملاح مثل تحول الكربونات الحمضية إلى كربونات وبالتالي يخسر جزيء الملح جزيئا" من ثنائي أكسيد الكربون.
- ينتج عن تجفيف الأملاح المتبقية بعد التبخير فقدان جزء من الماء الداخل في تركيب بلورات الأملاح.
- تتبخر بعض المركبات العضوية وتتعلق نسبة الكمية المتبخرة بدرجة الحرارة وفترة تجفيف المادة، بينما يبقى جزء من المواد العضوية ضمن الراسب الصلب.

انطلاقا" من المعطيات السابقة فإن الطرائق المستعملة لتحديد المتبقي الجاف إما بطريقة التبخير أو التكليس تترافق مع أخطاء عديدة في النتائج المستحصل عليها، لذلك فإن طريقة قياس الناقلية الكهربائية هي الأفضل لتحديد درجة التمعدن أو الملوحة للماء.

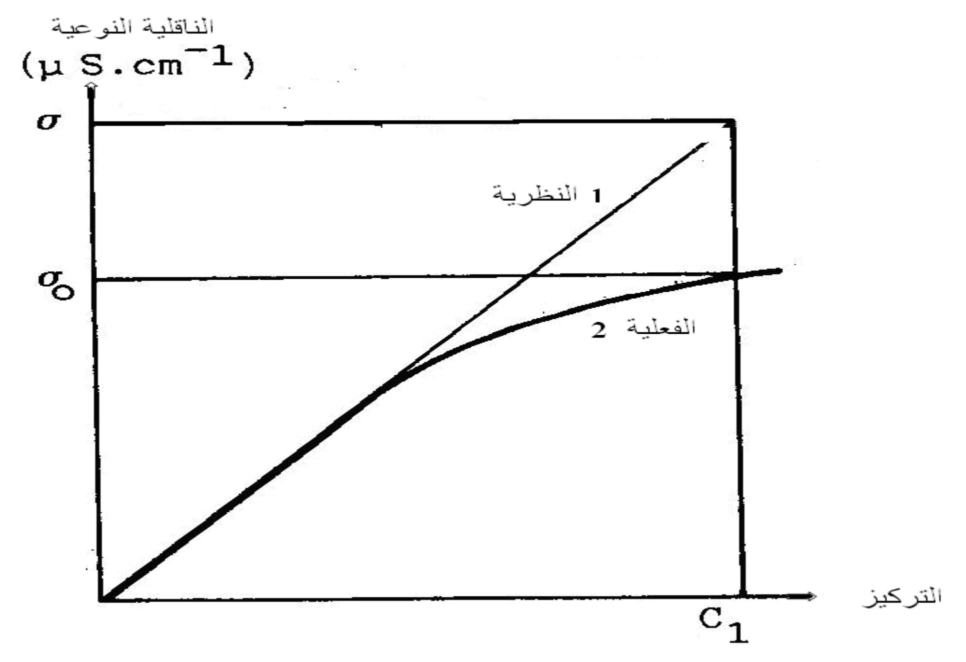
تعرف الناقلية النوعية الكهربائية للماء (σ) بأنها ناقلية عمود من الماء طوله 1 سم ومحصور بين قطبين معدنيين سطح كل منهما 1 سم^2 ، وهي مساوية إلى معكوس المقاومة النوعية (ρ).

$$\sigma = 1/\rho$$

وحدة قياس الناقلية النوعية الكهربائية مكروسيمنس على السنتيمتر ($\mu S / cm$)، ويمكن الربط بينها وبين المقاومة النوعية المعبر عنها بالأوم. سم ($\Omega . cm$) بالعلاقة:

$$\sigma(\mu S / cm) = 10^6 / \rho \ (\Omega. Cm)$$

تتعلق قيمة الناقلية النوعية للماء بعوامل عديدة منها درجة الحرارة وقيمة pH الوسط، ولكنها تتعلق أساسا" بكمية الشوارد المنحلة في الماء. إن العلاقة القائمة بين تركيز الشوارد والناقلية الكهربائية ليست علاقة خطية نظرا" إلى انخفاض درجة التشرد مع ارتفاع التركيز، من الناحية العملية فإن تناسب الناقلية مع التركيز، يكون خطيا" في حالة التراكيز الخفيفة فقط (الشكل 2 – 5).



الشكل 2 – 5: تحولات الناقلية الكهربائية النوعية النظرية (1) والفعلية (2) بدلالة تركيز الأملاح في الوسط المائي{76}.

يلاحظ من معطيات الشكل(2– 5) ابتعاد القيمة النظرية للناقلية عن القيمة الحقيقية في التراكيز العالية، ولذلك تجرى عملية تمديد للعينة المتمتعة بناقلية نوعية أعلى من 1000 (ميكروسيمنس / سم) قبل قياس واعتماد ناقليتها النوعية. تحدد الملوحة الكلية للعينة المائية استنادا إلى الناقلية النوعية باستعمال العلاقة الآتية:

الملوحة الكلية (مغ / لتر) = σ (سيمنس/ سم) × 688000 (في الدرجة 20°م)

تعطي هذه العلاقة قيما" متقاربة مع القيم المستحصل عليها بطريقة وزن المتبقي الجاف للعينات المتوسطة التمعدن، بينما هناك علاقات أخرى تطبق في حالتي التراكيز الخفيفة جدا" والعالية. إن الناقلية النوعية المقاسة تعادل مجموع ناقلية الشوارد المنحلة في العينة المائية، ويعطي الجدول (2– 9) الناقلية النوعية للشوارد الأساسية المنحلة في المياه الطبيعية.

ويمكن تفسير الفروقات الواضحة في نتائج قياس درجة تمعدن الماء بطرائق مختلفة (طريقة وزن المتبقي الجاف، طريقة الناقلية الكهربائية النوعية) بالأخطاء الملازمة لكل منها.

الجدول 2 – 9: الناقلية النوعية للشوارد الأساسية الموجودة في المياه الطبيعية من أجل وحدة التركيز. {76}

الشاردة	الناقلية النوعية (ميكروسيمنس / سم)	
	واحد ميلي مكافىء غرامي /لتر	واحد مغ / لتر
كالسيوم	46.8	2.34
مغنزيوم	42.1	3.46
صوديوم	44.2	1.92
بوتاسيوم	64.9	1.66
كربونات حمضية	39.4	0.645
كربونات	76.3	2.54
كلور	68.5	1.93
نترات	64.2	1.04
كبريتات	66.7	1.39

ب) قساوة الماء ومعيار القساوة :

توافق قساوة الماء أو معيار القساوة مجموع تراكيز الشوارد الموجبة باستثناء شوارد القلويات والهيدروجين، ولذلك فإن معيار القساوة يعبر في معظم الأحيان عن شوارد الكالسيوم والمغنزيوم في الماء الطبيعي، ويمكن التعبير عن القساوة بأساليب مختلفة أهمها:

- القساوة الكلية أو معيار القساوة (TH) وهو المكافئ لمجموع تراكيز شوارد الكالسيوم والمغنزيوم في العينة المائية.
- القساوة الكلسية (TH Ca) والمكافئة لتراكيز أملاح الكالسيوم.
- القساوة المغنزيومية (TH Mg) الموافقة لتراكيز أملاح المغنزيوم.
- القساوة الدائمة (THP) وتشمل القساوة غير الكربوناتية وتساوي الفرق بين القساوة الكلية والقساوة الكربوناتية.
- القساوة المؤقتة: وتشمل قساوة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم الحمضية، وبالتالي فإنها توافق الفرق بين القساوة الكلية والقساوة الدائمة (TH - THP).

إذا كانت القساوة الكلية أقل من مجموع تراكيز شوارد الكربونات والكربونات الحمضية (TH< TAC) فإن قساوة الماء متكونة من الكربونات والكربونات الحمضية للكالسيوم والمغنزيوم فقط، أما إذا كانت القساوة الكلية أكبر من مجموع تراكيز شوارد الكربونات والكربونات الحمضية

(TH> TAC) فإن قساوة الماء ناتجة عن أملاح الكربونات والكربونات الحمضية وكذلك عن أملاح الكلوريدات والكبريتات والنترات لكل من الكالسيوم والمغنزيوم.

تعتمد الطريقة التحليلية لقياس قساوة الماء على تفاعل شوارد الكالسيوم والمغنزيوم المنحلة في الماء مع ملح معقد من ثنائي الصوديوم لحمض إتيلين ثنائي أمين – رباعي الخل والمعروف باسم (EDTA).

توضح المعادلة التالية تفاعل شوارد الكالسيوم مع EDTA :

يستعمل كاشف أسود أريوكروم T (Noir Eriochrome T) في وسط موقي لتحديد مجموع شوارد الكالسيوم والمغنزيوم. بينما يتم تحديد شوارد الكالسيوم بمفردها بعد ترسيب شوارد المغنزيوم في وسط قلوي، ثم إجراء المعايرة باستعمال مشعر الموريكسيد الأحمر (Murexide Rouge) للحصول على تركيز الكالسيوم، أما القساوة المغنزيومية فإنها تمثل الفرق بين القساوة الكلية والقساوة الكلسية.

ج) معيار الحموضة Titre Acidimetrique:

1) قياس الحموضة: تنتج حموضة الماء عن وجود ثنائي أكسيد الكربون المنحل والحموض المعدنية وأملاح الحموض القوية والأسس الضعيفة. وتقاس الحموضة بمعايرة العينة المائية بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم وبوجود مشعرات مختلفة أهمها:

   - الفينول فتالئين للحموضة الكلية (pH = 8. 3 - 10).
   - برتقالي الميتيل من أجل الحموض القوية (pH = 3. 2 - 4. 4).

2) قياس الملوحة للشوارد السالبة الناتجة عن الحموض القوية: SAF , TAF, TACi تمثل الملوحة للشوارد السالبة والقوية في الماء مجموع الشوارد السالبة للحموض القوية ولاسيما الكلوريد والكبريتات والنترات. تمرر العينة المائية على مبادل شاردي موجب (H^+) مجدد بوساطة حمض كلور الماء. ويستعمل لهذه الغاية مبادل شاردي مصنع

من اللدائن العضوية المسلفنة، ونذكر على سبيل المثال البوليمير ستيرين ثنائي فينيل البنزن:

وتحدث في أثناء عملية مرور الماء على المبادل التفاعلات الآتية:

$$R - SO_3^-H^+ + NaCl \leftrightarrow R - SO_3^-Na^+ + HCl$$

$$R -(SO_3^-H^+)_2 + CaSO4 \leftrightarrow R - (SO_3^-)_2\, Ca + H_2SO_4$$

$$R -(SO_3^-H^+)_2 + Mg (NO_3)_2 \leftrightarrow R - (SO_3^-)_2\, Mg + 2\, HNO_3$$

يحرر أيضا الحموض الضعيفة وفقا" للمعادلة:

$$R- (SO_3H^+)_2 + Ca (HCO_3)_2 \leftrightarrow R\text{-}(SO_3^-)_2\, Ca^{+2} + 2\, H_2CO_3$$

يستعمل لمعايرة العينة بعد عبورها المبادل الشاردي مشعر برتقالي الميتيل للحصول على الحموضة القوية، ولا يمكن استعمال مشعر الفينول فتالئين لأنه يعطي عند ذلك الحموضة الكلية.

د) معايرة القلوية TAC , TA:

تنتج قلوية الماء عن وجود الكربونات والكربونات الحمضية وشوارد الهيدروكسيل في الماء، وتقاس بمعايرة العينة بحمض قوي (حمض كلور الماء) وتحدد نقطة التحول باستعمال مشعرات لونية أو جهاز دليل الهيدروجين.

- معيار القلوية TA يشمل شوارد الهيدروكسيل (OH^-) والكربونات.
- معيار القلوية الكلية (TAC) يشمل شوارد الهيدروكسيل والكربونات والكربونات الحمضية.

تعطى قيم pK لحمض الكربون الموافقة لدرجتي التفكك من أجل وسط يتمتع بقوى شاردية مجاورة للقيمة 10^{-2} مول/لتر وفي درجة من الحرارة قريبة من الدرجة 15^o م وفق الآتي:

$$H_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+ \qquad pK`_1 = 6.3$$

$$HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+ \quad pK` = 10.25$$

يكشف مشعر الفينول فتالئين عن حدوث التفاعلات الآتية:

$$OH^- + H_3O^+ \rightarrow 2\,H_2O$$

$$CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightarrow HCO_3^- + H_2O$$

وبالتالي فإن:

$$pH = (pK`_1 + pK`_2) / 2 = 8.3$$

وتتطابق تلك القيمة لقيمة pH الوسط مع نقطة تحول مشعر الفينول فتالئين. ولهذا فالمعايرة باستعمال مشعر الفينول فتالئين تقيس كامل شوارد الهيدروكسيل ونصف كمية الكربونات المنحلة، وهذا ما يوافق معيار القلويةTA.

أما في حالة استعمال مشعر برتقالي الميتيل فتكون تفاعلات التعديل كالآتي:

$$OH^- + H_3O^+ \rightarrow 2\,H_2O$$

$$CO_3^{2-} + H_3O^+ \rightarrow HCO_3^- + H_2O$$

$$HCO_3^- + H_3O^+ \rightarrow H_2CO_3 + H_2O$$

يتحول لون المشعر في المحلول عند قيمة pH الوسط الموافقة إلى 4,4، أي بعد تعديل كل شوارد الهيدروكسيل والكربونات الحمضية معا لأن الكربونات الحمضية تتفاعل وتعطي الكربونات:

$$HCO_3^- + OH^- \rightarrow CO_3^{2-} + H_2O$$

ولهذا توجد خمسة احتمالات ممكنة للتعبير عن قلوية الماء:

1) شوارد الكربونات الحمضية بمفردها.
2) الكربونات والكربونات الحمضية.
3) الكربونات فقط.
4) الكربونات وشوارد الهيدروكسيل.
5) شوارد الهيدروكسيل فقط.

تسمح دراسة الإمكانيات الخمس السابقة بتحديد تراكيز كل من شوارد الكربونات والكربونات الحمضية والهيدروكسيل بدلالة المعايير TA و TAC وفق الآتي:

الحالة الأولى : HCO_3^-

$$TA = 0 \rightarrow TAC = [HCO_3^-]$$

الحالة الثانية : $CO_3^{2-} + HCO_3^-$

$$TA = [CO_3^{2-}]/2 \rightarrow [CO_3^{2-}] = 2\,TA \ ,$$

$$TAC = [CO_3^{2-}] + /HCO_3^-] = 2\,TA + [HCO_3^-] \rightarrow$$

$$[HCO_3^-] = TAC - 2TA \quad , \quad TA < TAC/2$$

الحالة الثالثة : CO_3^{2-}

$$TA = [CO_3^{2-}]/2 \rightarrow TAC = [CO_3^{2-}] \ , \ TA = TAC/2$$

الحالة الرابعة : $OH^- + CO_3^{2-}$

$$TA = ([OH^-] + [CO_3^{2-}])/2 \rightarrow [CO_3^{2-}] = 2TA - 2[OH^-]$$

$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] \rightarrow TAC = 2TA - [OH^-]$$

اذا":

$$TA > TAC/2$$
$$[OH^-] = 2TA - TAC$$
$$[CO_3^{2-}] = 2\,TAC - 2\,TA$$

الحالة الخامسة: OH^-

$$TA = TAC$$
$$[OH^-] = TA = TAC$$

يجمع الجدول (2 – 10) تراكيز الشوارد المختلفة بدلالة قيم كل من TA و TAC للحالات الخمس.

الجدول 2 – 10: تراكيز الشوارد السالبة المختلفة بدلالة قيم كل من TA و TAC.

الحالة	$[HCO_3^-]$	$[CO_3^{2-}]$	$[OH^-]$	قيم TA بدلالة TAC
الأولى	TAC	0	0	$TA = 0$
الثانية	$TAC - 2TA$	2TA	0	$TA < TAC/2$
الثالثة	0	TAC	0	$TA = TAC/2$
الرابعة	0	$2(TAC - TA)$	$2TA - TAC$	$TA > TAC/2$
الخامسة	0	0	TAC	$TA = TAC$

إذا احتوى الماء على تراكيز عالية من المواد المعلقة والملونة أو المواد المنحلة التي يمكن أن تتصف بدور المحلول الموقي، يجب عند ذلك تجنب استعمال المشعرات واستبدالها بجهاز قياسpH، علما" أن جميع تلك القياسات يمكن إجرائها باستعمال جهاز pH لتحديد نقطة التحول.

هـ) التوازن الكربوناتي مع غاز ثنائي أكسيد الكربون :

تتصف كافة العناصر المنحلة في الماء بدور في عملية التوازن الحمضي الأساسي في الوسط المائي، غير أن الدور الأساسي يعود إلى العناصر الأساسية المنحلة في المياه الطبيعية، وبالتالي فإن معرفة التوازنات القائمة بين الكربونات والكربونات الحمضية وغاز ثنائي أكسيد الكربون الحر في الماء هي خطوة أساسية للدراسة الأولية لطرائق المعالجة.

1) معادلات التعادل الكهربائي:

إذا عبرنا عن التراكيز بالميلي مول في اللتر فيمكن كتابة معادلات التعادل الكهربائي للعناصر المعدنية كالآتي:

$$[H_3O^+] + 2[Ca^{++}] + 2[Mg^{++}] + [Na^+] + [K^+/ + [NH_4^+] + \ldots$$

$$= [OH^-] + 2[CO_3^{--}] + [HCO_3^-] + [Cl^-] + 2[SO_4^{--}] + [NO_3^-] + \ldots$$

التي يمكن وضعها على الصيغة:

$$[H_3O^+] + 2[Ca^{++}] + P = [OH^-] + 2[CO_3^{--}] + [HCO_3^-] + N$$

حيث تمثل P تركيز الشوارد الموجبة الخاصة بالعينة المائية، كما وتمثل N تركيز الشوارد السالبة الخاصة بالعينة مع استبعاد الشوارد العامة الموجودة في المياه الطبيعية وهي شوارد الكالسيوم والكربونات والكربونات الحمضية. وتسمح العلاقة الأخيرة بالفصل بين الشوارد الداخلة في

التوازن القائم بين الكربونات والكربونات الحمضية وغاز ثنائي أكسيد الكربون من جهة والشوارد الأخرى التي لم تدخل التوازن، وتكون قيمة N أقل أو أكبر أو مساوية لقيمة P و تبعا لنوعية المياه.

2) علاقات قائمة بين العناصر الأساسية:

يمكن تلخيص العلاقات القائمة بين العناصر الستة الأساسية بالآتي:

$$2\,H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

$$K`_e = [H_3O^+][OH^-]$$

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + H_3O^+$$

$$K_1` = \frac{[HCO_3^-]\,[H_3O^+]}{[H_2CO_3]}$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons CO_3^{--} + H_3O^+$$

$$K_2` = \frac{[CO_3^{--}]\,[H_3O^+]}{[HCO_3^-]}$$

$$CaCO_3 \rightleftharpoons Ca^{++} + CO_3^{--}$$

$$Ks` = [Ca^{++}][CO_3^{--}]$$

تسمح العلاقة الأخيرة الواردة أعلاه باستنتاج الآتي:

- إذا كان الماء دون مرحلة الإشباع فإن:

$$Ks` > [Ca^{++}][CO_3^{--}]$$

– أما إذا كان الماء مشبعا" فإن:

$$Ks` < [Ca^{++}][CO_3^{--}]$$

ترتبط قيم الثوابت $K`e$ و$K`_1$ و $K`_2$ و $K`s$ بدرجة الحرارة والقوى الشاردية للماء، ونوضح فيما يلي تأثير هذين العاملين في قيم الثوابت:

- تأثير درجة الحرارة:

يوضح الجدول(2 – 11) التحولات الناتجة عن تغير درجة الحرارة لقيم pK في مجال محصور بين الدرجة صفر مئوية والدرجة 80^o مئوية من أجل قوى شاردية معدومة ($I = 0$).

الجدول 2 – 11: تحولات pK بدلالة درجة الحرارة {54}.

درجة الحرارة م	pKe	pK_1	pK_2	pKs
0	14.940	6.583	10.627	8.022
10	14.526	6.475	10.490	8.151
18	14.239	6.410	10.400	8.260
20	14.167	6.393	10.377	8.280
25	14.000	6.366	10.329	8.342
30	13.836	6.345	10.290	8.395
40	13.537	6.314	10.220	8.514
50	13.263	6.297	10.172	8.625
60	13.016	6.294	10.143	8.738
70	13.700	6.301	10.124	8.860
80	–	6.315	10.122	8.975

- تأثير القوى الشاردية:

يمكن اعتبار القوى الشاردية مقياسا" مميزا" لكثافة القوى الجاذبة بين الشوارد المختلفة التي تتعلق بتركيز تلك الشوارد في الماء. ويمكن التعبير عن القوى الشاردية (I) بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{1}{2}\sum_i m_i Z_i^2$$

حيث تمثل m_i التركيز المولي، بينما ترمز Z_i إلى التكافؤ الشاردي.

تسمح القوة الشاردية (I) بحساب معامل الفعالية f_i للشاردة (i) وبالتالي حساب فعالية تلك الشاردة في الوسط المدروس، كما أنها تسمح بتصحيح قيم ثوابت التوازن باستعمال معامل التصحيح (ε):

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{I}}{1 + 1.4\sqrt{I}}$$

بعد حساب معامل التصحيح يمكن إيجاد قيم ثوابت التوازن الموافقة لمحاليل ذات قوة شاردية معينة (I) استنادا إلى قيم تلك الثوابت في حالة المحاليل معدومة القوة الشاردية باستعمال العلاقات الآتية:

$$pK'_e = pK_e - \varepsilon$$

$$pK'_1 = pK_1 - \varepsilon$$

$$pK'_2 = pK_2 - 2\varepsilon$$

$$pK'_s = pK_s - 4\varepsilon$$

مثال: لنفترض أن تحليل عينة مائية أعطى النتائج الآتية مقدرة بالدرجة الفرنسية:

$$[HCO_3^-] = 27\ f°, [SO_4^{--}] = 3\ f°, [Mg^{++}] = 14\ f°, [Ca^{++}] = 20\ f°$$

$$[Na^+] = 2\ f°, [K^+] = 0.5\ f°, [Cl^-] = 6.5\ f°$$

تحسب قيمة القوة الشاردية من العلاقة السابقة، فتعطي القيمة 11×10^{-3} مول / لتر، وثم تحسب قيمة معامل التصحيح ε التي تساوي 9×10^{-2} ومن خلال قيم pK الواردة في الجدول(2– 11) من أجل درجة حرارة محددة وقيمة معامل التصحيح يمكن حساب قيم `PK.

3) الأشكال المختلفة للكربون المعدني بدلالة pH الوسط:

يتفكك حمض الكربون في الوسط المائي معطيا شوارد الهيدروجين، وبالتالي فإن قيمة pH الوسط تتحكم بحالة الكربون المعدني في الوسط المائي (حمض كربون، كربونات، كربونات حمضية). ويستند المنحني البياني الذي يعطي توزيع تلك العناصر بدلالة pH على العلاقتين الآتيتين:

$$K'_1 = \frac{[HCO_3^-]\ [H_3O^+]}{[H_2CO_3]}$$

$$K'_2 = \frac{[CO_3^{--}]\ [H_3O^+]}{[HCO_3^-]}$$

إضافة إلى علاقة الموازنة للكربون المعدني الكلي:

$$CO_{2\,T} = [CO_3^{--}] + [HCO_3^-] + [H_2CO_3]$$

يمكننا إذا استخلاص العلاقات التي تعطي تراكيز الحالات المختلفة للكربون في الماء بدلالة pH الوسط:

$$[HCO_3^-] = [H_2CO_3]\frac{K_1`}{[H_3O^+]} = \frac{[H_3O^+]}{K_2`}[CO_3^{--}]$$

$$[CO_3^{--}] = [HCO_3^-]\frac{K_2`}{[H_3O^+]} = [H_2CO_3]\frac{K_1` \cdot K_2`}{[H_3O^+]^2}$$

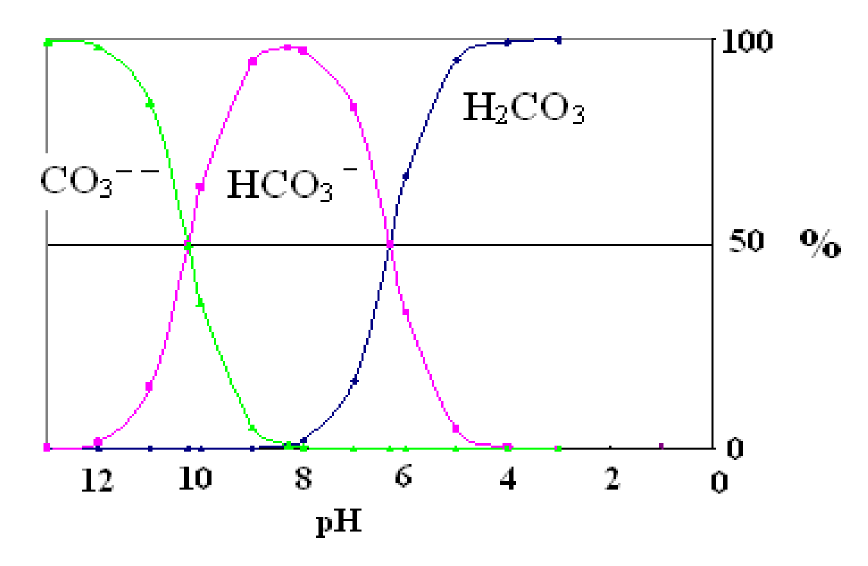
$$[H_2CO_3] = [HCO_3^-]\frac{[H_3O^+]}{K_1`} = [CO_3^{--}]\frac{[H_3O^+]^2}{K_1` \cdot K_2`}$$

إذا افترضنا أن قيم الثوابت $K`1$ و $K`_2$ هي على التوالي$10^{-6.3}$ و$10^{-10.25}$ فإنه بالإمكان حساب النسبة المئوية للأشكال المختلفة للكربون المعدني بدلالة pH الوسط كما هو وارد في الجدول (2 – 12).

الجدول 2 – 12: تغير النسبة المئوية لكل من حمض الكربون والكربونات والكربونات الحمضية بدلالة pH الوسط {39}.

$100 \times \frac{[CO_3^{2-}]}{CO_{2T}}$	$100 \times \frac{[HCO_3^-]}{CO_{2T}}$	$100 \times \frac{[H_2CO_3]}{CO_{2T}}$	pH
–	0.05	99.95	3
–	0.50	99.50	4
–	4.77	95.23	5
–	33.38	66.62	6
–	50.00	50.00	6.3
0.05	83.33	16.62	7
0.54	97.52	1.94	8
1.03	97.94	1.03	8.275
5.30	94.51	0.19	9
35.97	64.02	0.01	10
50	50.00	–	10.25
84.90	15.10	–	11
98.26	1.74	–	12
99.83	0.17	–	13

كما يمكن التعبير عن تلك القيم بمنحنٍ بياني (الشكل 2 – 6).



الشكل 2 – 6:المنحنى البياني للكربون المعدني في الماء بدلالة pH الوسط.

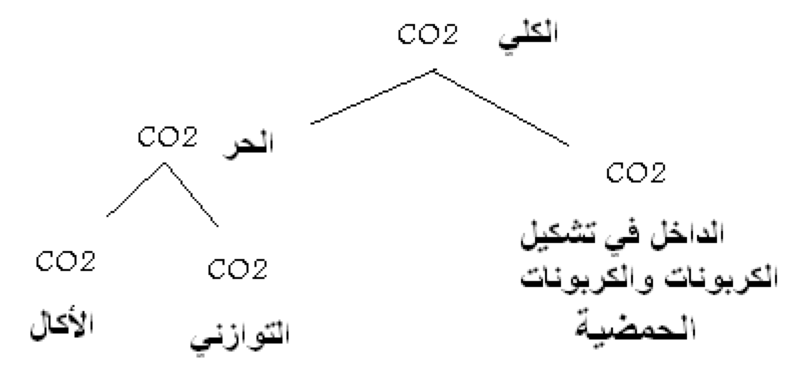
تسمح لنا دراسة المنحنى البياني أعلاه بتسجيل عدد من الملاحظات أهمها:

- يشكل المنحنى البياني للنسبة المئوية للكربونات الحمضية قسمين متناظرين بالنسبة لمحور يمر من القيمة 8.275 لقيمة pH الوسط.
- يكون الكربون المعدني على شكل حمض الكربون من أجل pH أقل من أربعة.
- من أجل $4 < pH < 8$ يكون تركيز الكربونات مهملا"، وتتساوى كمية الكربونات الحمضية والكربونات عند قيمة $pH = 6.3$.
- من أجل قيمة pH أعلى من 8 فإن حمض الكربون يختفي من الوسط ويظهر التوازن بين الكربونات والكربونات الحمضية حيث يتساوى تركيزهما عند قيمة pH المساوية للقيمة 10,25 $(pH = pKs = 10.25)$
- تتمتع المياه الطبيعية بقيمة pH تتراوح بين 6 و 8.5، أما إذا كانت القيمة خارج تلك الحدود فإن المياه تكون قد تعرضت إلى انسكابات لمياه صناعية.

4) الفعل الآكّال Agressivité:

تكون الكربونات الحمضية في الماء بحالة غير مستقرة، وتتفكك إلى كربونات وغاز ثنائي أكسيد الكربون، وللإبقاء على كربونات الكالسيوم منحلة في الماء، لابد من وجود كمية من غاز ثنائي أكسيد الكربون كافية لإحداث عملية التوازن، وتسمى تلك الكمية بثنائي أكسيد الكربون التوازني.

غير أن المياه الطبيعية تحتوي كمية زائدة عن الكمية التوازنية، وهذه الكمية الزائدة تسمى غاز ثنائي أكسيد الكربون الأكال. يتوزع ثنائي أكسيد الكربون في الوسط المائي وفق الآتي:



- إذا كان CO_2 الحر مساويا" CO_2 التوازني يكون هناك توازن بين الكربونات والكربونات الحمضية وحمض الكربون.
- إذا كان CO_2 الحر أكبر من CO_2 التوازني يكون الماء آكالا".
- إذا كان CO_2 الحر أصغر من CO_2 التوازني يكون الماء مغشى (Incrustante).

5) تحديد آكالية الماء :

في الوسط المائي هناك علاقة بين pH الوسط وتركيز كل من الكالسيوم والكربونات الحمضية :

$$\mathbf{pHs = pK`2 - pK`s - \log [HCO_3^-] - \log [Ca^{++}]}$$

باستعمال هذه العلاقة المعروفة بعلاقة لانغولييه، وبمعرفة تراكيز الكربونات الحمضية وشوارد الكالسيوم ودرجة الحرارة والقوة الشاردية، يمكن حساب قيمة pH الموافقة لحالة الإشباع والتي يرمز لها بالرمز pHs. يمكن إذا تعريف pHs بأنها تمثل قيمة دليل الهيدروجين للوسط الذي يسمح لكربونات الكالسيوم الحمضية بالبقاء في حالة توازن ضمن الوسط المائي. وبمقارنة pHs الناتجة عن العملية الحسابية مع pH_0 المقاسة تجريبيا، يمكن تحديد ثلاث حالات ممكنة هي:

$pHs = pH_0$ يكون الماء في حالة توازن.

$pHs > pH_0$ ماء آكال (كمية زائدة من CO_2)

$pHs < pH_0$ ماء مغشى (نقص في كمية CO_2)

يسمى الفرق بين PH_0 و PHs بقرينة الإشباع (أو قرينة لانغولييه) ويرمز لها بالرمز (i).

$$\mathbf{i = pH_0 - pHs}$$

لا تسمح تلك العلاقة بمفردها بتحديد كمية الكواشف الكيميائية اللازمة لعملية التعديل. هناك عدد من القواعد التي تسمح بتمييز ماء معين وتحديد كمية الكلس الحي أو كربونات الكالسيوم الواجب إضافتها لتعديل الماء الأكال، أو كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون لإعادة التوازن للمياه المكلسة (Calcifiante). نذكر منها: جدول تيلمانس(TILLMANS) والمنحني البياني لهوفر ولانغولييه (HOOVER – LANGELIER)وغيرها.

إن تلك العلاقات لا تأخذ في الحسبان كامل الحقائق العلمية ولأسباب مختلفة منها:

- بعضها لا يأخذ تراكيز العناصر الأساسية (CO_3^{--} ، H_3O^+، OH^-).
- بعضها الآخر لا يأخذ إلا جزءا" من العناصر الأساسية، إضافة إلى إهماله لبعض العوامل الفيزيائية الكيميائية كدرجة الحرارة والقوة الشاردية التي تؤثر في قيم ثوابت التوازن.

إن أكثر الطرائق قربا" من الواقع طريقة بوارييه وليغراند (POIRIER – LEGRAND) التي تسمح بتقريب نظري من التغيرات الحادثة فعلا في التوازنات القائمة بين الكربونات والكربونات الحمضية وثنائي أكسيد الكربون مهما كانت نوعية المعالجة المستخدمة. كما أن استعمالها يكون إما بالعلاقات الرياضية أو المنحني البياني ولا تتطلب حسابات معقدة.

6) طريقة بوارييه وليغراند (POIRIER – LEGRAND):

يعطي المنحني البياني لهذه الطريقة كمية ثنائي أكسيد الكربون بدلالة شوارد الكالسيوم:

$$CO_{2\,T} = f\ [Ca^{++}]$$

حيث تتضمن $CO_{2\,T}$ مجموع تركيز حمض الكربون والكربونات الحمضية والكربونات:

$$CO_{2\,T} = [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [H_2CO_3]$$

وقد رأينا سابقا أن علاقة تعديل الشحنات الكهربائية ممكن أن تأخذ الشكل التالي:

$$[H_3O^+] + 2\,[Ca^{++}] + P = [OH^-] + 2\,[CO_3^{--}] + [HCO_3^-] + N$$

وإذا افترضنا أن:

$$\lambda = \frac{N - P}{2}$$

نحصل على العلاقة الأساسية التالية:

$$2\,([Ca^{++}] - \lambda) = [OH^-] + 2\,[CO_3^{--}] + [HCO_3^-] - [H_3O^+]$$

وتصبح علاقة ثنائي أكسيد الكربون الكلي وفق الآتي:

$$CO_{2\,T} = 2\,([Ca^{++}] - \lambda) + [H_2CO_3] + [H_3O^+] - [CO_3^{--}] - [OH^-]$$

في المعادلتين السابقتين، يتعلق المعامل λ بتركيز العناصر فقط.

- في الحالة الخاصة عندما تكون قيمة pH مساوية للقيمة :

$$pH = (pK_1` + pK_2`) / 2$$

أي في حالة محلول من الكربونات الحمضية فإن التوازن يأخذ الشكل التالي:

$$2\ HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{--} + H_2CO_3$$

وتكون:

$$[CO_3^{--}] = [HCO_3^-]$$

إذا من أجل درجات الحرارة التي تتراوح بين الصفر مئوية و70° مئوية، ومن أجل قوة شاردية متحولة بين الصفر والقيمة العظمى في المياه الطبيعية، تكون تحولاتpH محصورة بين 8 و 8,6 أي:

$$8 \leq pH \leq 8.6$$

وتكون في هذه الحالة تراكيز كل من [H_3O^+] و [OH^-] مهملة، وبالتالي تأخذ علاقة تعادل الشحنات الكهربائية ضمن هذه الحالة الخاصة الصيغة :

$$CO_{2\,T} = 2([Ca^{++}] - \lambda)$$

وتتمركز النقاط الخاصة بهذه المياه على القطعة المستقيمة SX المنتهية في النقطة S ذات الإحداثيات λ على محور الكالسيوم والصفر على محور ثنائي أكسيد الكربون (الشكل 2– 7).

- الحالة الخاصة الثانية عندما تكون:

$$pH < (pK_1` + pK_2`) / 2$$

فإن تراكيز الهيدروكسيل والكربونات تكون مهملة في هذا النوع من المياه، وبالتالي تأخذ العلاقتان السابقتان الصيغ التالية:

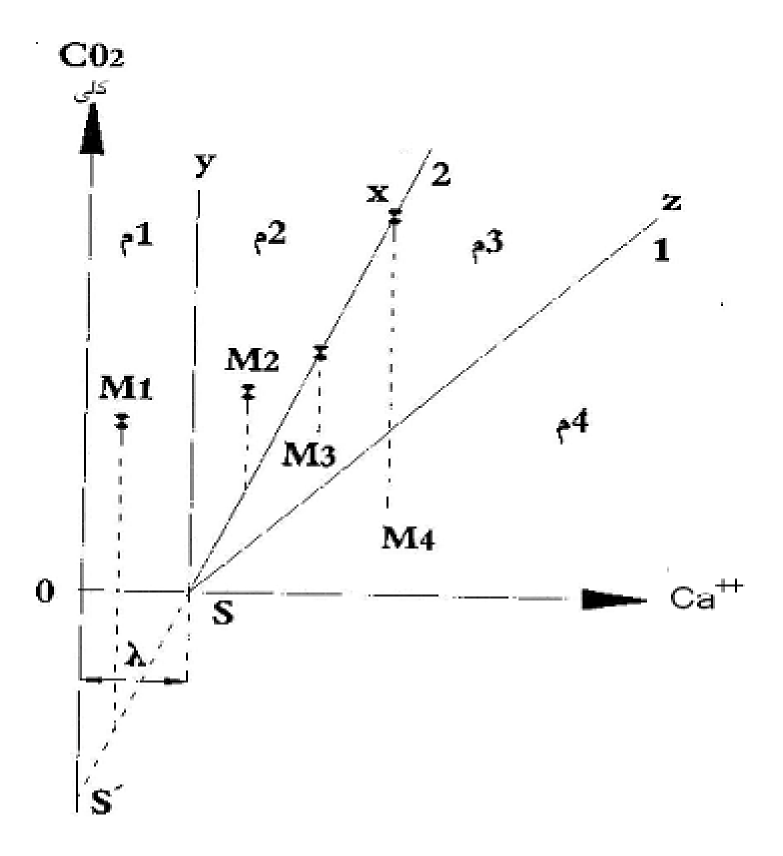
$$2([Ca^{++}] - \lambda) = [HCO_3^-] - [H_3O^+]$$

$$CO_{2\,T} = 2([Ca^{++}] - \lambda) + [H_2CO_3] + [H_3O^+]$$

ومنه نستنتج أن:

$$CO_{2\,T} > 2(/Ca^{++}/ - \lambda)$$

وتظهر النقاط المعبرة عن هذه المياه في المنطقة الواقعة فوق الخط SX.



الشكل 2 – 7: كمية ثنائي أكسيد الكربون الكلي بدلالة تركيز شوارد الكالسيوم، وتوزع مناطق التوازنات (طريقة بوارييه وليغراند) {54}.

إذا كانت شوارد H_3O^+ مهملة مقابل شوارد HCO_3^- يمكن اعتماد العلاقات الآتية:

$$2\left([Ca^{++}] - \lambda \right) = [HCO_3^-]$$

$$CO_{2T} = [HCO_3^-] + [H_2CO_3] = 2\left([Ca^{++}] - \lambda \right) + [H_2CO_3]$$

وعند ذلك فإن النقاط المعبرة عن هذه الأنواع من المياه تقع فوق المستقيم SX.

أما إذا كانت قيمة تركيز H_3O^+ أكبر بكثير من قيمة تركيز HCO_3^-:

$$2\left(/Ca^{++}/ - \lambda \right) = -[H_3O^+]$$

وبالتالي فإن:

$$[Ca^{++}] < \lambda$$

وتكون قيمة ثنائي أكسيد الكربون الكلي مساوية إلى:

$$CO_{2T} = [H_2CO_3]$$

تكون النقاط الممثلة لهذا النوع من المياه واقعة إلى يسار المستقيم YS الموازي لمحور ثنائي أكسيد الكربون الكلي.

أما إذا كانت قيمة تركيز H_3O^+ مساوية إلى قيمة تركيز HCO_3^- فتصبح قيمة تركيز شوارد الكالسيوم مساوية إلى λ:

$$[Ca^{++}] = \lambda$$

عندئذ تقع النقاط الموافقة لهذا النوع بجوار المستقيم SY.

- الحالة الخاصة الثالثة تشمل المياه التي تكون فيها:

$$pH > (K`_2 + K`_1) / 2$$

تكون في هذه الحالة قيم تراكيز كل من H_2CO_3 و H_3O^+ مهملة وتصبح علاقة تعادل الشحنات الكهربائية وفق الآتي:

$$2([Ca^{++}] - \lambda) = [OH^-] + 2[CO_3^{--}] + [HCO_3^-]$$

وتصبح علاقة ثنائي أكسيد الكربون الكلي كالآتي:

$$CO_{2T} = 2([Ca^{++}] - \lambda) - [CO_3^{--}] - [OH^-]$$

لذلك يكون لدينا:

$$CO_{2T} < 2([Ca^{++}] - \lambda)$$

وبالتالي، فإن النقاط الممثلة لهذه الأنواع من المياه تكون في المنطقة الواقعة تحت المستقيم (XS).

وباستعمال العلاقات الثلاث الأخيرة وإهمال تراكيز كل من H_2CO_3 وH_3O^+ فإننا نحصل على العلاقة التالية :

$$CO_{2T} = [Ca^{++}] - \lambda + ([HCO_3^-] - [OH^-]) / 2$$

ينتج عن تطبيق هذه المعادلة ثلاث حالات هي:

الحالة الأولى: $[HCO_3^-] = [OH^-]$ تكون عندها النقاط المميزة لتلك المياه تقع على المستقيم (ZS).

الحالة الثالثة: $[HCO_3^-] > [OH^-]$ تقع النقاط في المثلث ZSX.

الحالة الثالثة : $[HCO_3^-] < [OH^-]$ تقع النقاط تحت الخط ZS في المثلث المتشكل من ZS ومحور السينات .

يمكننا تحديد أربع مناطق على المنحني البياني للعلاقة ($CO_{2\,T} = f\,[\,Ca^{++}]$) الممثلة في المنحنيات البيانية في الشكل (2– 7). وتمثل الأبعاد العمودية الفاصلة بين النقاط المعبرة عن مياه معينة (M) والمستقيم (`XS)تراكيز الشوارد الموضحة في الشكل أعلاه.

إذا كانت قيمة λ سالبة فإن النقطة S تكون على يسار مبدأ الإحداثيات 0، وبالتالي يحدث اختفاء كامل للمنطقة 1 واختفاء جزئي للمناطق 2 و 3 و 4 (الشكل 2– 7).

انطلاقا من العلاقات الثلاث الآتية:

$$K_1^{`} = \frac{[HCO_3^-]\;[\,H_3O^+\,]}{[H_2CO_3]}$$

$$K_2^{`} = \frac{[\;CO_3^{-}\,]\,[H_3O^+\,]}{[HCO_3^-\,]}$$

$$Ks^{`} = [\;\;Ca^{++}\,][\,CO_3^{--}]$$

وبإهمال تراكيز العناصر الخفيفة التركيز في كل من المناطق 2 و 3 و 4 يصبح بالإمكان التعبير عن منحنيات التوازن في كل منطقة من خلال علاقات رياضية هي:

- منطقة 2 :

$$CO_{2\,T} = 2\,(\,[Ca^{++}\,] - \lambda\,) + \frac{4\,K`_2}{K`_1 \cdot K`_s}\,(\,[Ca^{++}\,] - \lambda\,)^2\;[Ca^{++}\,]$$

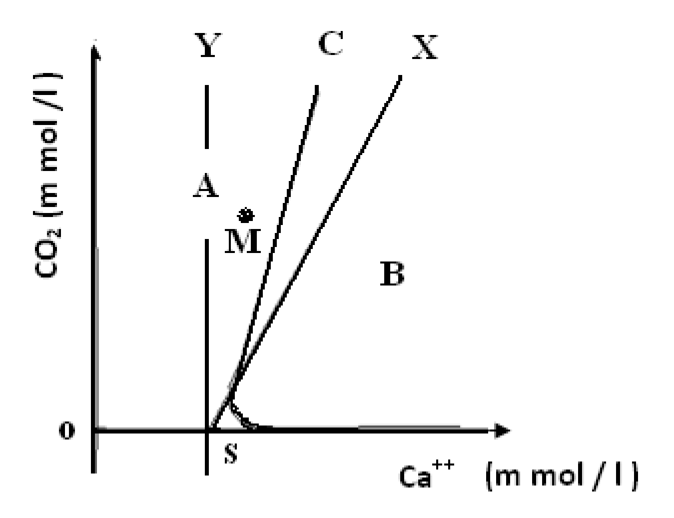
- منطقة 3:

$$CO_{2\,T} = [Ca^{++}\,] - \lambda \pm \sqrt{(\,[Ca^{++}\,] - \lambda - \frac{K`_s}{[Ca^{++}\,]}\,)^2 - \frac{K`_s\;K`_e}{K`_2\,[Ca^{++}\,]}}$$

- منطقة 4:

$$CO_{2\,T} = \frac{K`_s}{[Ca^{++}\,]}$$

يوضح الشكل (2 – 8) منحنيا" بيانيا" توازنيا" لماء معين. حيث يقسم المنحني البياني (C) السطح إلى منطقتين A و B، الممثلتين لمياه أكَالة ($K`\,s > [\;Ca^{++}\,][\;CO_3^{--}\,]$) ومياه كلسية ($K`\,s < [\;Ca^{++}\,]\;[\;CO_3^{--}\,]$) على التوالي.



الشكل 2 – 8: المنحني البياني للتوازن الكربوناتي في الماء{54}.

إذا افترضنا أن لدينا عينة مائية ممثلة بالنقطة M (الشكل2 – 8) فإن أية تغيرات تحدث لها أثناء عملية المعالجة تؤدي إلى:

– انزياح النقطة M نتيجة تغيرات $CO_{2\,T}$ أو Ca^{++}

– انزياح النقطة S وبالتالي انزياح المستقيم y والمنحني التوازني نتيجة تغير العناصر المميزة للماء.

– انزياح M و S في الوقت نفسه إذا حدث تغيير على تركيب العناصر الأساسية والعناصر المميزة للماء. فإذا أضيف مثلا كبريتات الكالسيوم فإن النقطة M تنزاح إلى اليمين والنقطة S تنزاح إلى اليمين أيضا. بينما إذا أضيف الكلس الحي (CaO) فإن النقطة M تنزاح إلى اليمين، ولا يتغير موقع النقطة S. وبالعكس إذا كانت النقطة M والمنحني التوازني منزاحين من مواقعهما يمكن تحديد كميات المواد الكيميائية اللازمة لإعادة حالة التوازن إلى الماء (توازن العناصر الكربونية الأساسية CO_3^{--}، HCO_3^{-}، H_2CO_3).

2. 4. 3 التلوث العضوي:

تحتوي المياه الطبيعية مركبات عضوية مختلفة في نوعيتها وفي تراكيزها تبعا" لمصدر المياه ومسارها. ويعود منشأ تلك المركبات إلى مصدرين أساسيين هما:

- مركبات عضوية من أصل طبيعي، كمركبات الدبال (Substances Humique)، ومكونات الخلايا (ليبيدات، حموض أمينية، بروتينات،...،...).
- مركبات عضوية ناتجة عن النشاطات الإنسانية المنزلية والصناعية والزراعية كالمواد الفعالة سطحيا (Tensioactifs) والهيدروكربونات والمبيدات وغيرها.

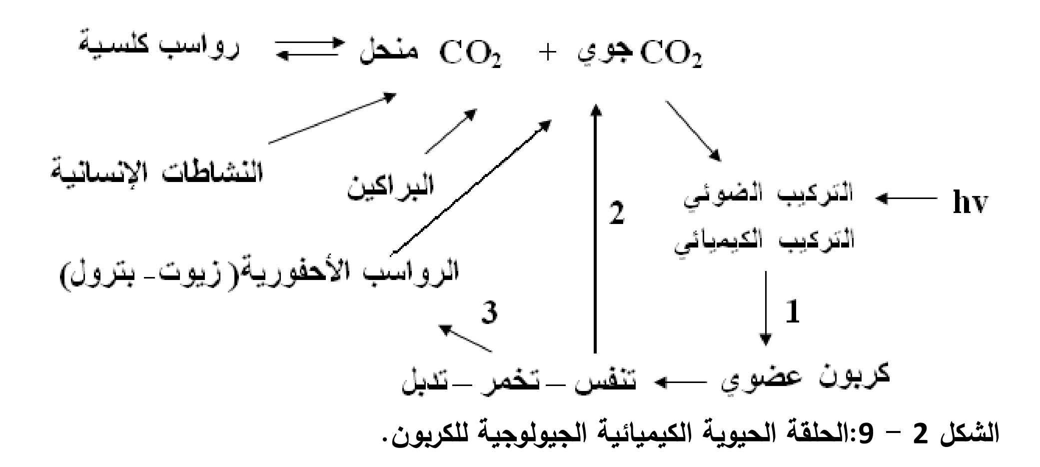
هناك عدة طرائق لتصنيف الملوثات العضوية، وسنكتفي بتصنيفها إلى ثلاثة أنواع:

- الملوثات الدقيقة الكربونية
- الملوثات الدقيقة الآزوتية
- الملوثات الدقيقة الفُسفورية

آ) الملوثات الدقيقة الكربونية:

1) المواد العضوية ذات المنشأ الطبيعي:

تنتج تلك المواد عن عمليات معقدة يدخل فيها: انتقال المواد العضوية الطبيعية، وتحول الكربون المعدني إلى كربون عضوي، وتحول الكربون العضوي إلى كربون معدني، وتتعلق تلك التحولات بالتبادل بين الهواء الجوي والوسط المائي، وبالتوازنات القائمة ضمن الوسط المائي، وبالتحولات الحيوية الجيولوجية الكيميائية للكربون، ويوضح الشكل (2 – 9) مخططا" مبسطا" لتك التحولات.



الشكل 2 – 9:الحلقة الحيوية الكيميائية الجيولوجية للكربون.

تنتج تحولات الكربون المعدني إلى كربون عضوي (الاتجاه1) عن ظواهر التركيب الضوئي والتركيب الكيميائي(Chimiosynthèse). حيث تعطي عملية التركيب الضوئي الخلايا النباتية انطلاقا" من غاز ثنائي أكسيد الكربون الهوائي. ويعود تركيب المركبات العضوية في الماء إلى نشاط الطحالب (Algues) ولاسيما العوالق النباتية (Phytoplancton). وينتج التركيب الكيميائي عن فعل البكتريا ضوئية التغذية (Phototrophes) وكيميائية التغذية

(Chimiotrophes)، وليس بالسهولة تأمين الشروط المناسبة لتكاثر هذه الأنواع، لذلك فإنها تنشط ضمن مياه معينة تحقق شروط نشاطها.

أما تحولات الكربون العضوي إلى كربون معدني (اتجاه 2 في الشكل 2– 9) فإنه ينتج عن نشاط الأحياء الدقيقة غيرية التغذية (Hétérotrophes) التي تتميز بدور أساسي في تفكيك وتحلل المواد العضوية. وبالتالي فإن التفاعلات الأساسية التي تقود إلى إنتاج غاز ثنائي أكسيد الكربون تتدرج ضمن عمليات الاستقلاب (Métabolisme) التأكسدية التي تسمح للأحياء الدقيقة بالحصول على الطاقة اللازمة لنشاطها، وترتبط عمليات الاستقلاب التأكسدية بشكل مباشر مع عمليات التركيب الحيوي (Biosynthése) للخلايا البكترية. ولا ينتج الكربون المعدني (ثنائي أكسيد الكربون) إلا في حالة توفر الأكسجين وحدوث العمليات الهوائية. أما العمليات اللاهوائية فإنها تقود إلى تكوين غازي الميتان والهيدروجين وحمض السيلفوهيدريك والحموض العضوية. وتمتاز الجسيمات الدقيقة بقدرتها على تفكيك المواد العضوية البسيطة والجزيئات الضخمة على حد سواء، غير أن سرعة تحلل بعض الجزيئات الضخمة تكون بطيئة، وخاصة الجزيئات الضخمة الحيوية (ليغنين، مواد الدبال،....،... .)، ولذلك يحدث في بعض الحالات تراكم لهذه المركبات العضوية وتكوين الرواسب الأحفورية (Dépots Fossiles) (الاتجاه 3 في الشكل 2 – 9) مع طرح الكربون العضوي نتيجة العمليات الحيوية الجيولوجية الكيميائية.

تنتج عملية التدبل عن تكثيف المواد العضوية القادمة من البقايا الحيوانية والنباتية المختلطة مع التراب، وتقوم الأحياء الدقيقة والأنزيمات بدور أساسي في عملية الترابط وإعطاء مركبات مشتقة من أصل نباتي ومؤكسدة جزئيا" والتي تتبلمر فيما بعد وتكون معقدات مع السكريات والبروتينات والحموض الأمينية، وتنتج أخيرا" حموض الدبال التي تُمتزّ على سطح الحُبيبات الترابية مكونة معقدات ترابية – دبالية، وتتميز مركبات الدبال بسرعة تحلل بطيء جدا"، وتتراوح فترة التحلل بين 20 إلى 2000 عام تبعا" للشروط البيئية. وتنتقل مركبات الدبال، وخاصة المتمتعة بوزن جزيئي صغير نسبيا والمعروفة بحموض الفولفيك (Acides Fulviques) إلى المياه السطحية بوساطة مياه الفيضانات والسيول.

يتضح من استعراض مختصر للحلقة الحيوية الكيميائية الجيولوجية للكربون (الشكل 2 – 9) أن المياه، ولاسيما المياه السطحية، تحتوي مركبات كربونية مختلفة وكثيرة لا يمكن حصرها، فهي تحتوي، إضافة إلى مركبات الدبال والفولفيك، كافة المركبات المكوّنة للخلايا الحية النباتية والحيوانية، ولا يمكن تقديم عرضٍ مفصل عن تلك المركبات، غير أننا نعرض أهم البنى الكيميائية للمجموعات الأساسية الموجودة في المياه الطبيعية.

- **المواد الدسمة (الليبيدات): LIPIDES**

تتكون الليبيدات البسيطة من إستيرات الغليسيرول والحموض الدسمة، وتتمتع ببنية كيميائية حاوية على مجموعات إستيرية ومجموعات ألكيلية مشبعة أو غير مشبعة:

$$H_2C-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R_1$$
$$HC-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R_2$$
$$H_2C-O-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-R_3$$

أما الليبيدات المركبة فإنها تتكون من فوسفوليبيد وغليكوليبيد.

$$H_2C-O-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-R_2$$
$$R_1-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-O-CH$$
$$H_2C-O-\underset{O}{\underset{\|}{\overset{O-}{\overset{|}{P}}}}-O-$$

وتحتوي الليبيدات غير القابلة للتصبن مركبات مختلفة كالستيروئيدات والأصبغة النباتية والفيتامينات وغيرها.

squelette cyclopentano-phénantrénique (stéroïde)

ß-carotène

- **الكربوهيدرات:**

تشكل الكربوهيدرات جزءا مهما من المواد المكونة للخلايا الحية، وتتراوح نسبتها بين 15% إلى 35% من الوزن الجاف للأحياء الدقيقة، ونسبة 60% إلى 90% من الخلايا النباتية. وتتكون الحلقة الأساسية للكربوهيدرات من السكريات الأحادية، وهي في الحقيقة عديد الكحول المتكون من 5 إلى 8 ذرات من الكربون، ويحتوي أيضا" وظائف سيتونية أو ألدهيدية، ونورد فيما يلي صيغ السكريات الأحادية والسكريات الثنائية:

monosaccharides

disaccharides

وتعدَ عديدات السكريات (جزيئات ضخمة) المكون الأساسي للهيدروكربونات، وتختلف فيما بينها بوزنها الجزيئي وتفرعاتها (نشاء، غليكوجين، سيلولوز،...،... .).

- **مركبات الدبال :**

تتكون مركبات الدبال من بوليميرات عطرية تحوي وظائف مختلفة منها الكربوكسيل والكربوكسيليك والميتوكسي المرتبطة بسلاسل دهنية (Aliphatique)، ويتمتع السطح الخارجي لتلك المركبات بقدرة عالية على امتزاز الكثير من المركبات العضوية والمعدنية، ويوضح الشكل (2 – 10) صيغا" مقترحة لمركبات الدبال.

(a) بنية حمض الفولفيك طبقا" لاقتراح SCHNITZER{82 }.

(b) بنية حموض الدبال طبقا" لاقتراح CHRISTMAN {26}

الشكل 2 – 10: مركبات الدبال والفولفيك.

تستخلص مركبات الدبال والفولفيك من المياه {90}، وتحلل باستعمال عدد من تقنيات الكيمياء التحليلية وهي:

- الرنين المغناطيسي النووي (R M N) للكربون.
- استعمال النظام المزدوج كروماتوغرافيا(Couplage Chromatographie)– مطيافية الكتلة (Spectrométrie de Masse)

- استعمال التفكك الحراري(Pyrolyse)– مطيافية الكتلة.

تتمتع حموض الفولفيك بأوزان جزيئية تتراوح بين 500 و 2000، بينما يكون الوزن الجزيئي لحموض الدبال أكبر من 2000. غير أن عملية التمييز بين حموض الفولفيك وحموض الدبال لا تعتمد فقط على وزنها الجزيئي، بل أيضا على صيغتها وبنيتها الكيميائية. ويعطي الجدول (2 – 13) نسب العناصر المختلفة الأساسية المشكلة لكل منها.

الجدول 2 – 13: تحليل عناصر المركبات الدبالية {35}.

الحمض المستخلص	مصدر العينة المائية	النسبة المئوية وزنا %			
		C	O	H	N
الفولفيك	نهر في الولايات المتحدة الأمريكية (Suwannee - Georgie)	51.3	42.9	4.3	0.6
الفولفيك	بحيرة في الولايات المتحدة الأمريكية (Black Lake –Caroline du Nord)	42.4	35.0	3.7	0.9
الفولفيك	مياه راكدة في فرنسا (Poitiers)	53.4	30.0	5.3	1.1
الدبال	مياه راكدة في فرنسا (Poitiers)	46.6	–	4.0	1.7

إن استعمال طرائق تحليل مختلفة أدت إلى تحديد العناصر المكونة لمواد الدبال إضافة إلى تحديد وزنها الجزيئي، كل ذلك يساعد في تمييز مركبات الدبال وتحديدها. ويعطي الجدول (2 – 14) إحدى نتائج التحليل الخاصة بحمض الفولفيك التي توصل إليها (Christman , Gjessing).

الجدول2 – 14: تركيب أحد حموض الفولفيك {26}.

المجموعات الوظيفية		توزيع الكربون	
الوظيفة	ميلي مول / غ	المجموعات الوظيفية	% C
- COOH	6. 2 - 6. 0	عطرية	20. 8
- OH	8. 6 – 5. 4	دهنية (سلاسل مفتوحة)	36. 7
		C – OH	20. 1
		C - OOH	14. 6
		ϕ - OH	3. 9
		C = O	4. 0

2– المواد العضوية الناتجة عن النشاطات الإنسانية:

ينتج عن النشاطات الإنسانية مواد عضوية مختلفة، تطرح معظمها في المياه السطحية مباشرة أو بطريقة غير مباشرة، ويختلف مصدر تلك المركبات، فمنها ما هو ناتج عن النشاط المنزلي وأخرى ناتجة عن النشاط الصناعي أو الزراعي.

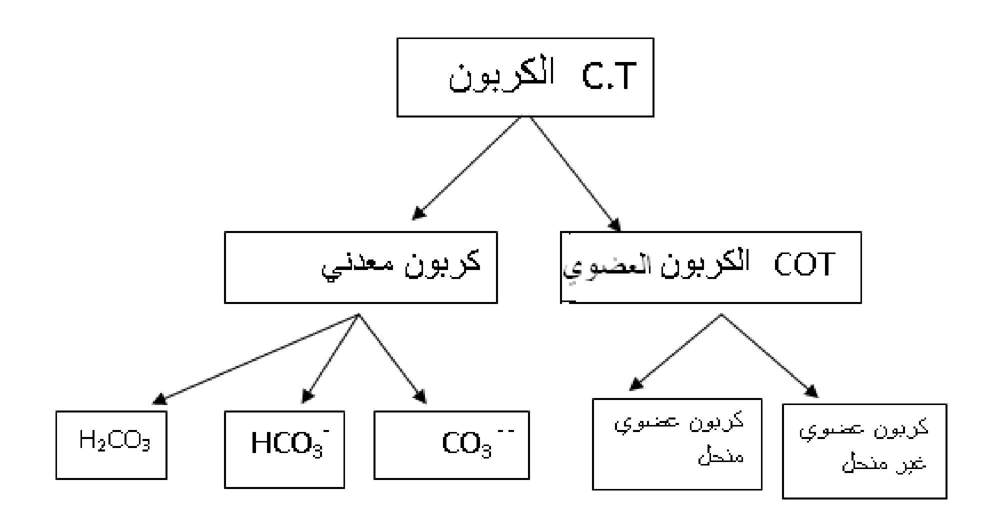
تحتوي المياه السطحية إذا" مختلف الوظائف الكيميائية، غير أن تركيزها يكون منخفضا جدا" إلا في حالات التلوث المفاجئة أو الطارئة.

- **قياس الكربون العضوي الكلي COT:**

نظرا" إلى تنوع المركبات العضوية الموجودة في المياه السطحية وإلى كون تراكيزها خفيفة جدا"، وبالتالي صعوبة تحليلها وتحديدها، يمكن التعبير عنها مجتمعة بمقياس الكربون العضوي الكلي. ويتكون الكربون العضوي الكلي في المياه السطحية من نوعين هما:

- كربون عضوي منحل.
- كربون عضوي غير منحل.

كما أن جزءا" من الكربون العضوي قابل للتحلل الحيوي، وهو ما يصطلح عليه بالكربون القابل للتركيب الغذائي. يعطي المخطط الموضح بالشكل (2 – 11) توزع الكربون في الماء الطبيعي.



الشكل 2 – 11: أنواع الكربون المختلفة في الماء.

يتم تحديد الكربون العضوي الكلي (COT) أو الكربون العضوي المنحل (COD) بعد التخلص من الكربون المعدني في العينة المائية، إما قبل إجراء القياس أو قياس الكربون الكلي والكربون المعدني وحساب الفرق بينهما.

يعتمد مبدأ القياس للكربون العضوي في الماء على أكسدته إلى الكربون المعدني، وقياسه في صيغة غاز ثنائي أكسيد الكربون المتحرر (CO_2).

ب) الملوثات الآزوتية الدقيقة:

1) مواد آزوتية من أصل طبيعي:

تتميز عملية تحول الآزوت ضمن الجملة المائية بكونها معقدة جدا"، حيث إنها تتأثر بعوامل عديدة منها درجة الحرارة والضغط وكمون الأكسدة والإرجاع والتبخر ونوعية الأحياء الدقيقة في الوسط المائي. يوجد الآزوت في المياه الطبيعية الخالية من التلوث بأشكال مختلفة منها:

- الآزوت الغازي الناتج عن انحلال غاز الآزوت الجوي في الماء.
- الآزوت الداخل في تركيب المركبات المعدنية والعضوية كالأمونيا وأملاح النترات والنتريت والحموض الأمينية ومركبات السكريات الأمينية والبروتيئين واليخضور وحموض الفولفيك.

<u>تحولات الصيغ المختلفة للآزوت:</u>

يوضح المخطط في الشكل (2 – 12) التحولات الأساسية لمركبات الآزوت ضمن جملة مؤلفة من الهواء والماء والراسب، ونلاحظ من دراسة ذلك المخطط أن التحولات بين الماء من جهة والهواء والراسب من جهة أخرى، تخضع للتفاعلات الآتية:

- تثبيت الآزوت الجزيئي في الوسط المائي بفعل الطحالب أو البكتريا الهوائية أو البكتريا اللاهوائية. ويعتقد أن كمية الآزوت المثبتة بفعل الطحالب الزرقاء تعادل عشرة أضعاف الكمية المثبتة بفعل البكتريا.
- تمثيل الآزوت القابل لعملية التمثيل الغذائي (آزوت الأمونيا) إلى مواد حية، وبوجود عملية التركيب الغذائي للكربون يحدث تخليق مركبات مثل البروتينات والحموض النووية.
- عملية النشدرة (Ammonification): تعطي عملية النشدرة الأمونيا، كما وتنتج الأمونيا عن عملية تحلل الخلايا الحية بعد موتها، وتحدث عملية النشدرة في مختلف الأوساط المائية، غير أن سرعتها مرتبطة بعوامل بيئية مختلفة.
- عملية النترجة: تحدث عملية النترجة في التغذية الذاتية (Autotrophe) كما أنها تحدث في التغذية الغيرية (Hétérotophe).

- عملية نزع الآزوت(Dénitrification): وهي عملية إرجاع النترات وتجري بفعل أنواع من البكتريا والطحالب والفطوريات والنباتات المتطورة. وتقوم البكتريا بعملية نزع الآزوت بطرائق مختلفة نذكر منها:

● الإرجاع التركيبي الغذائي (Réduction Assimilatrice):

$$NO_3^- \rightarrow NH_3 \rightarrow \text{تركيب غذائي}$$

● الإرجاع ثنائي التركيب الغذائي للنترات إلى نتريت(Réduction Dissimilatrice):

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^-$$

● تحويل النترات إلى نتريت ثم إلى آزوت، وتؤدي النترات دور القابل للإلكترونات في عملية أكسدة المركبات العضوية (نزع الآزوت في عملية التغذية الغيرية) أو المركبات المعدنية (نزع الآزوت في عملية ذاتية التغذية).

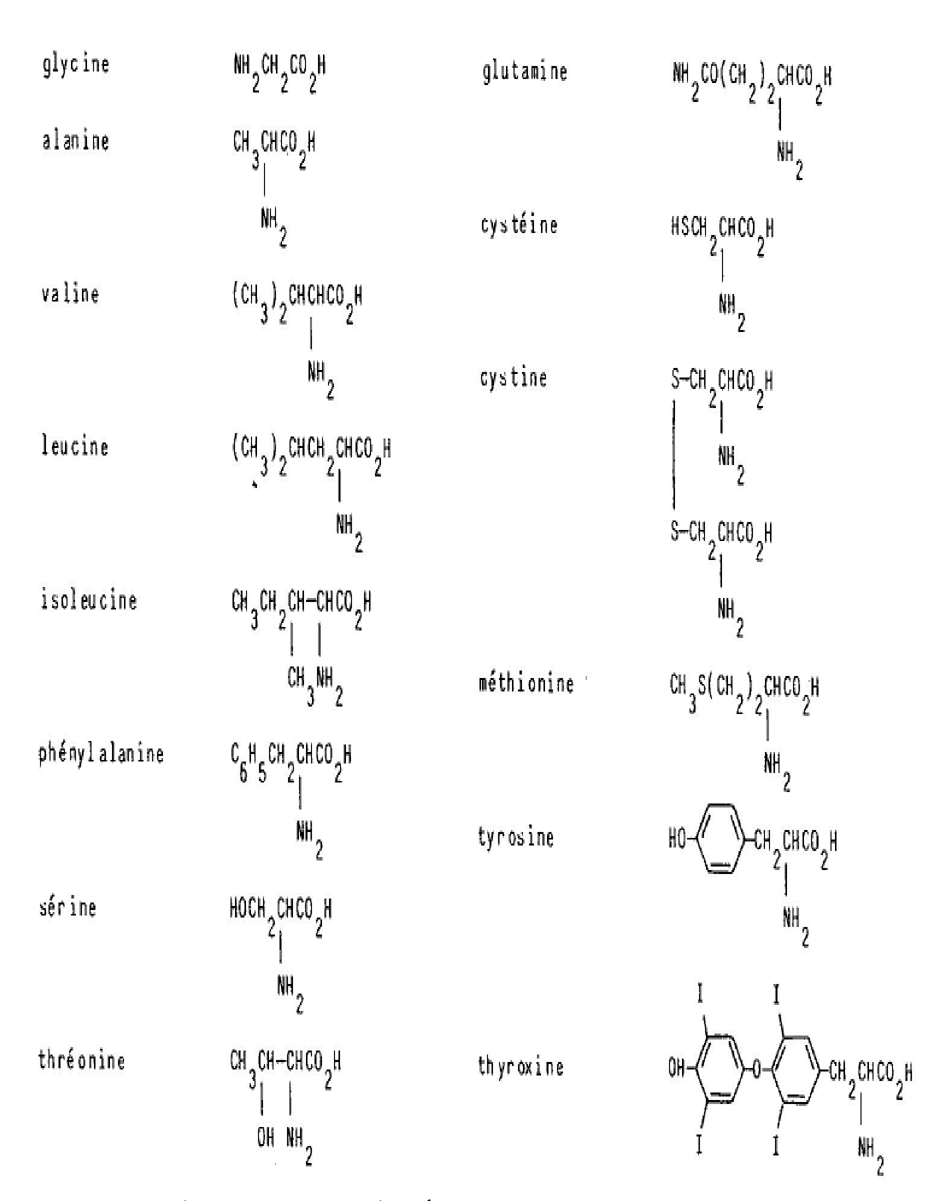
1) تثبيت، 2) تركيب، 3) النشدرة، 4) نترجة، 5) نزع الآزوت

الشكل 2 – 12: تحولات المركبات الآزوتية في الجملة هواء – ماء – رواسب {83}.

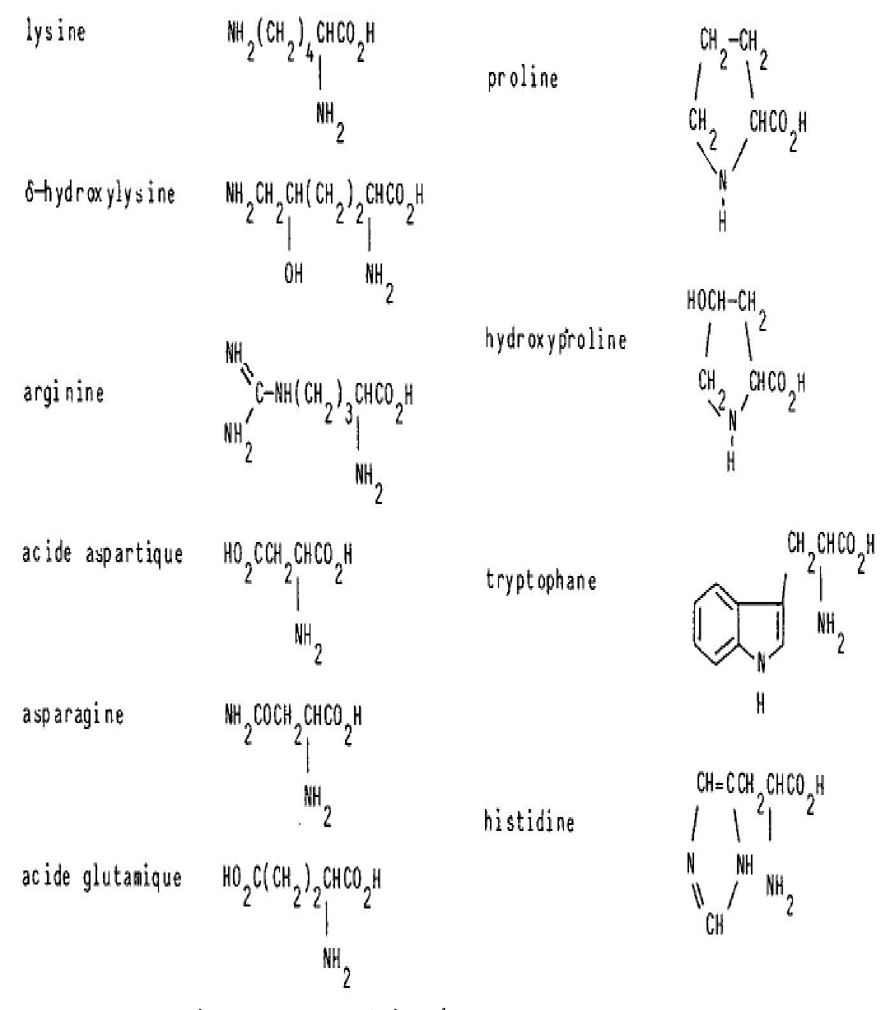
<u>**المركبات العضوية الآزوتية الرئيسية:**</u>

إن أهم المركبات العضوية الآزوتية الطبيعية في المياه هي:

- **الحموض الأمينية:** يلخص الشكلان (2 – 13 a) و(2 – 13 b) أهم الحموض الأمينية المنحلة في المياه الطبيعية.



الشكل 2 – 13 a: بعض الحموض الأمينية في المياه الطبيعية {78}.



الشكل 2 - b13: بعض الحموض الأمينية في المياه الطبيعية {78}.

- **البروتينات:** هي المركبات الأكثر تعقيدا" في المياه الطبيعية، ولها دورأساسي في كافة المواد الحية، وتتكون البروتينات البسيطة من بوليميرات أمينو – حموض مرتبطة بسلاسل البيبتيدات، ويدخل في تركيب بعض البروتينات عناصر غريبة، وتسمى البروتينات المتزاوجة كالبروتينات الصباغية والسكرية والدسمة وغيرها. تشكل كل حلقة من بنية البروتينات تركيبا" خاصا" وترتبط تلك الحلقات معا" بروابط ضعيفة كالروابط الهيدروجينية، وتكون أكثر البروتينات على شكل حلزوني.
- **النوويدات** (Nucléotides): تتكون من ثلاث جزيئات صغيرة هي:

جزيئة البورين (Purine) أو جزيئة بيريميدين (Pyrimidine)، وجزيئة الريبوز(Ribose) سكريد أحادي من فصيلة البنتوز وصيغته ($C_5H_{10}O_5$) أو من الريبوز منقوص الأكسجين ($C_5H_{10}O_4$)، وحمض الفوسفور.

- **الحموض النووية (Acides Nucléiques):**

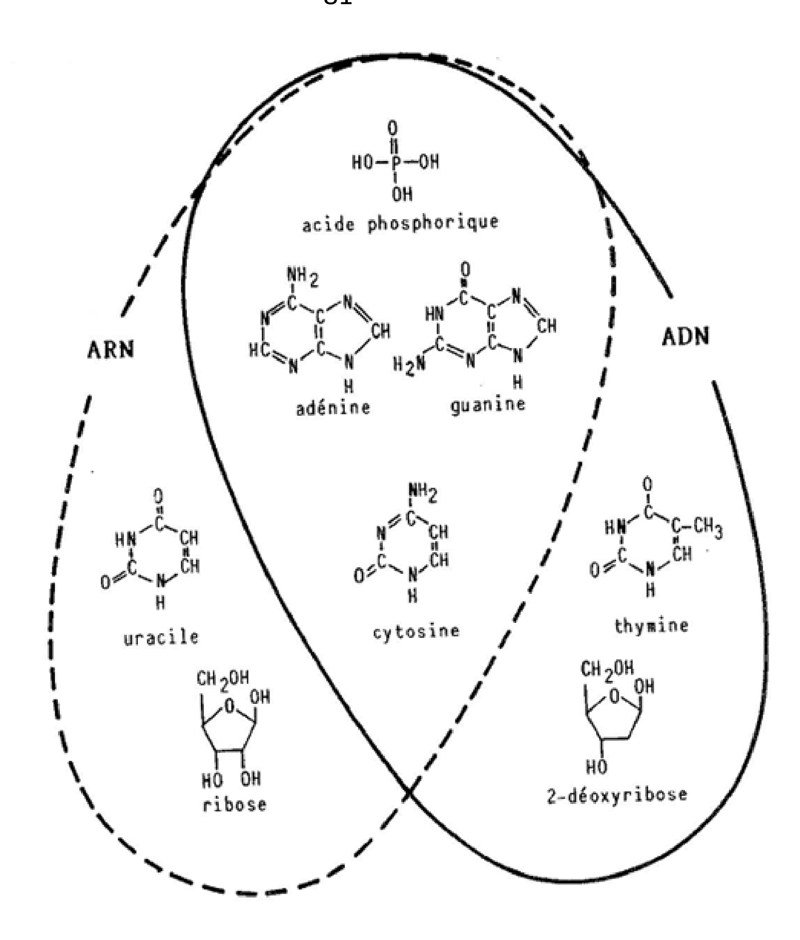
تتكون الحموض النووية من مركبات عضوية ذات جزيئات ضخمة (تتراوح كتلتها بين مئات الآلاف وعدة ملايين)، وتتألف هذه الحموض من عدد كبير من النوويدات الأحادية التي يدخل في تركيبها حمض الفُسفور والكربوهيدرات (الريبوز أو الريبوز منقوص الأكسجين) والأسس البورينية والبيريميدينية. ويُميَّز نوعان منها هما:

- الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين (Acide Désoxyribonucléique ADN).
- الحمض الريبي النووي (Acide Ribonucléique ARN).

ويوضح الشكل (2 – 14) بنية الحموض النووية .

الشكل 2 - 14: بنية الحموض النووية {39}.

ويعطي الشكل (2 – 15) عددا" من المركبات الداخلة في تركيب الحموض النووية.



الشكل 2 – 15: أهم المركبات الداخلة في تركيب الحموض النووية وبنية تلك الحموض {39}.

- **اليخضور (الكلوروفيل):**

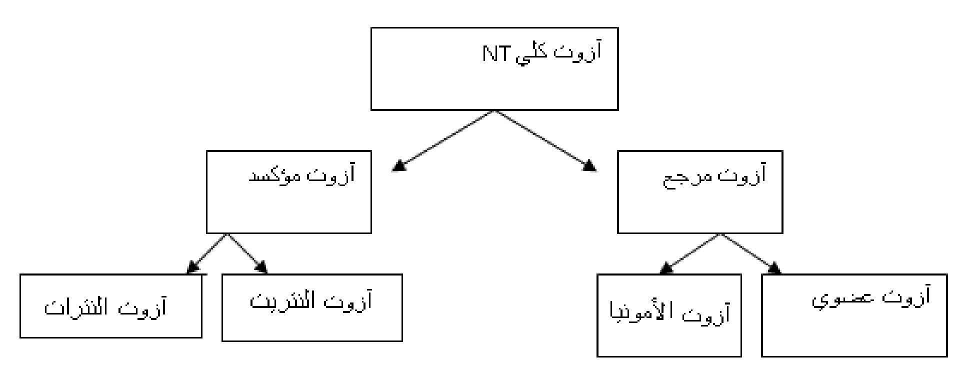
تشتق البنية الكيميائية لليخضور من البنية الكيميائية للبورفيرينات (Porphyrine) وتمتلك هذه الأخيرة بنية حلقية متناظرة تماما" ومؤلفة من أربع نوى بيرولية (Pyrrole) مرتبطة فيما بينها بالكربون رقم 2 و 5 عن طريق أربعة جسور متينة (- CH =)، وترتبط جزيئات الآزوت في اليخضور مع المغنزيوم الثنائي لتشكل المعقد الموضح في الشكل (2 – 16).

الشكل 2 – 16: بنية اليخضور و البورفيرينات {39}.

2) مواد عضوية آزوتية مصنعة:

تُطرح إلى المياه السطحية أنواع مختلفة من المواد العضوية الآزوتية المصنعة والناتجة عن الاستعمالات البشرية المختلفة (مياه الصرف الصحي، مياه الصرف الصناعية، مياه الصرف الزراعية)، وتشمل تلك المخلفات مواد غنية بالآزوت مثل المواد الصيدلانية والأسمدة والمتفجرات والملونات والمثبطات وغيرها. ويشهد العالم حاليا" اهتماما" متزايدا" بتلوث المياه بالنترات الناتجة عن المصادر الصناعية أو الحضرية، كما أدى الاستعمال المفرط للأسمدة إلى ارتفاع نسبة النترات والفوسفات في المياه السطحية والمياه الجوفية على حد سواء، وينتج عن هذه الزيادة في تركيز تلك العناصر ظاهرة الإثراء الغذائي (Eutrophisation) التي تؤثر في التوازن القائم في الوسط المائي ضمن الأنهار والبحيرات.

يمكن توزيع الصيغ المختلفة للآزوت في المياه السطحية حسب المخطط الوارد في الشكل (2 – 17).



الشكل 2-17: الأشكال المختلفة للآزوت في المياه السطحية.

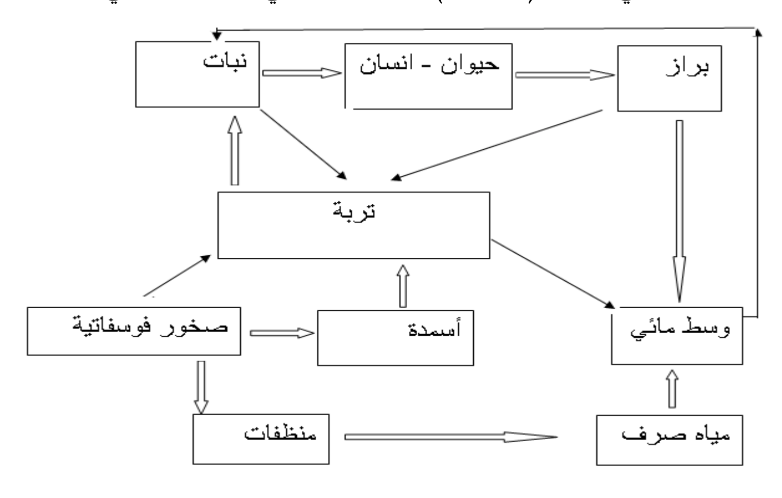
ج) الملوثات الفُسفورية الدقيقة:

يعتبر الفُسفور عنصرا" أساسيا" في المادة الحية، فهو يدخل في تركيب الخلايا الحية (الليبيدات الفُسفورية، الحموض النووية،....،... .)، وله دور أساسي في عمليات التجمع والانتقال الطاقي.

1 – المصادر الطبيعية للفُسفور:

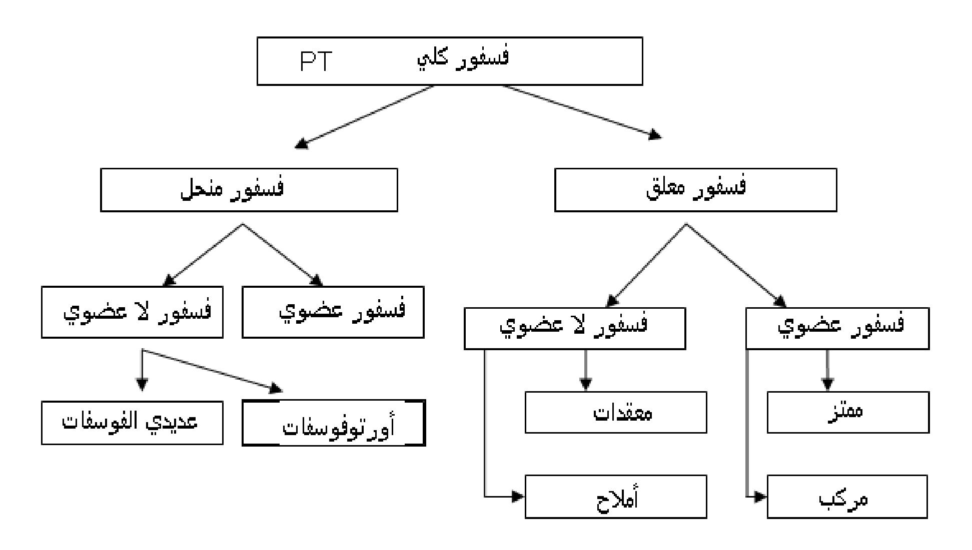
إن الصخور الأباتيتية من المصادر الأساسية للفُسفور في المياه الطبيعية علما" أن تلك الصخور هي الخزان الأساسي للفوسفات في التربة وتستخرج منها الأسمدة الفوسفاتية، كما وينتج الفوسفات في الماء عن تحلل المواد الحية علما" أن هذا المصدر ضعيف جدا".

يوضح المخطط الوارد في الشكل (2 – 18) دورة الفُسفور في الوسط الطبيعي.



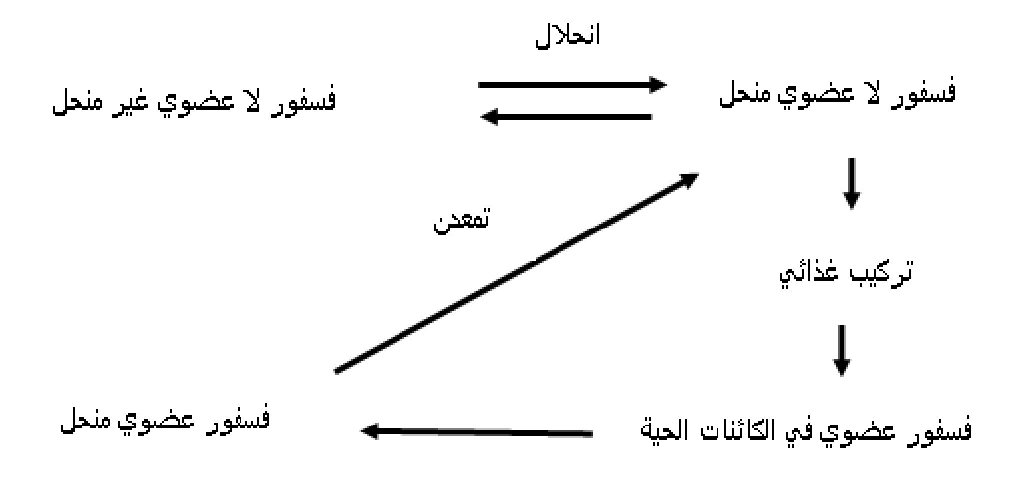
الشكل 2 – 18: دورة الفُسفور في الوسط الطبيعي.

تصنف الأنواع المختلفة للفُسفور في الماء كما هو موضح في الشكل (2 – 19).



الشكل 2 – 19: الأنواع المختلفة للفُسفور في الماء.

أما التحولات التي يعاني منها الفُسفور ضمن الوسط المائي، فيمكن تمثيلها كما هو موضح بالشكل (2 – 20).



الشكل 2 – 20: تحولات الفُسفور ضمن الوسط المائي.

يلاحظ من خلال المخطط الموضح بالشكل (2 – 20) أن تحولات الفُسفور تشمل الآتي:

- الفوسفات غير القابل للانحلال المباشر، وهو ينحل بفعل النشاط البكتري.

- يتحول الفُسفور العضوي إلى لاعضوي بعملية التمعدن.
- تجري عملية التركيب الغذائي للفُسفور اللامعدني بوساطة الأحياء الدقيقة.
- تجري كافة العمليات الواردة أعلاه دون تغير في درجة أكسدة الفُسفور.

تحدث عملية الإذابة الحيوية للفوسفات بحموض عضوية (حمض السيتريك، حمض السكسنيك، ...، .) وحموض معدنية (حمض الآزوت، حمض الكبريت،...، .) المنتجة من قبل البكتريا، كما أن عملية التركيب الغذائي للفُسفور اللاعضوي المنحل بالماء (الفوسفات) بوساطة النباتات والأحياء الدقيقة تقود إلى تثبيت جزء من الفُسفور المتكون في الخلايا (حموض نووية، فوسفوليبيد،...، .).

تحدث عملية التمعدن للفُسفور العضوي بتفاعل وسيطي على إنزيمات الفوسفاتاز (*Phosphatases*) ويقوم هذا الإنزيم المنتج من قبل العديد من البكتريا والفطوريات، بتحويل الفُسفور العضوي إلى فوسفات.

2 – الفُسفور الناتج عن النشاطات الإنسانية:

تعطي النشاطات الإنسانية من منزلية وصناعية وزراعية مركبات عضوية ومعدنية فُسفورية متنوعة:

- يطرح كل فرد نحو 4 غرام من الفُسفور يوميا" في مياه الصرف.
- يُعطي العديد من الصناعات مركبات فُسفورية ضمن النفايات السائلة المطروحة منها، وخاصة الصناعات الغذائية والأسمدة.
- ينتقل قسم كبير من الفوسفات المستعمل في التسميد إلى المياه السطحية، كما أن المبيدات العضوية الفُسفورية تلوث المياه السطحية أيضا".

د) المبيدات وتلويثها للمياه السطحية:

هناك مصادر مختلفة للتلوث بالمبيدات، فالمبيدات الزراعية تنتقل إلى المياه السطحية عن طريق السيول والفيضانات، كما أن غسيل الطرق المرشوشة بالمبيدات الحشرية يؤدي إلى انتقال جزء منها إلى المياه السطحية عن طريق مياه الصرف، يضاف إلى ذلك إمكانية انتقال المبيدات مباشرة من الهواء إلى المياه السطحية عندما تكون عملية الرش قريبة من مجرى مائي، وينتقل جزء من المبيدات المنحلة في المياه السطحية إلى المياه الجوفية نتيجة تسربه عبر طبقات الأرض النفوذة.

تستعمل مجموعة كبيرة من المركبات الكيميائية كمبيدات نباتية وحشرية، منها ما يحتوي وظائف بسيطة، ومنها ما يحتوي وظائف معقدة، وتصنف بطرائق مختلفة، منها ما يعتمد على صيغتها الكيميائية، ومنها ما يعتمد على مجال استعمالها .

- تصنيف المبيدات استنادا" إلى تركيبها الكيميائي:

1) عائلة الترايازين (Terbuthylazine , Atrazine , Simazine, Cyanazine)

Cyanazine Terbuthylazine

Atrazine Simazine

2) المركبات العضوية الكلورية: تستعمل كمبيدات للحشرات (Aldrine , HCH DDT) وكمبيدات للنباتات (2-4D , 2-4DT , MCPA, MCPP).

3) المركبات العضوية الفُسفورية : تعدَ هذه المركبات أقل ثباتا من السابقة، وتستعمل لمكافحة الحشرات والنباتات (Ethyl- parathion , Diazinon).

4) المركبات العضوية الآزوتية: (DNOC , Symazine)

5) المركبات العضوية المعدنية: (Thionitres , Thiourcil)

6) المركبات المعدنية: الكبريت, كبريتات النحاس, زرنيخ.

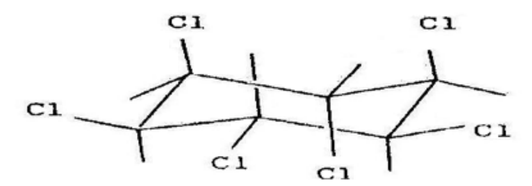
- تصنيف المبيدات حسب الاستعمال:

1) المبيدات الحشرية (Insecticides): تتضمن المبيدات الحشرية الأنواع الرئيسية الآتية:

- الأملاح المعدنية مثل زرنيخات الصوديوم ($As\ O_2\ Na$)
- البيريترينات (Pyrethrines) ولها الصيغة الكيميائية الآتية:

Pyrethrines

- المركبات العضوية الكلورية مثل الليندان ويختصر بالرمز (HCH) وصيغته:



Gamma-hexachlorocyclohexane

- المركبات العضوية الفُسفورية مثل الباراثيون:

- الكربامات مثل الكرباري (1 – نافتيل – N – ميتيل) كربامات:

2)المبيدات النباتية Herbicides:

- أملاح معدنية مثل كلورات الصوديوم $Na\ Cl\ O_3$.
- تريازين مثل أوترازين وصيغتها كما يلي :

- مشتقات حمض فينوكسي أسيتيل مثل حمض 2 – 4 ثنائي كلور فينوكسي أسيتيل والمعروف باسم (2-4 D):

- المونورون (Monuron):

3)المبيدات الفطرية Fongicides:

- مشتقات معدنية أو مركبات عضوية زئبقية.
- مشتقات الفينول مثل خماسي كلور الفينول.
- كربامات مثل المانيب:

ثنائي تيوكربامات منغنيز الاتيلين

4) مبيدات الديدان Nématicides:

تتكون مبيدات الديدان من جزيئات صغيرة هالوجينية، مثل: ثنائي كلور البروبين أو بروم الميتيل.

5) مضادات الرخويات Molluscicides :

نذكر منها الألديهيد الميتيلي وصيغته الكيميائية هي: $(CH_3CHO)_3$، وكلور الباريوم وأكسيد الزنك.

تتمتع كافة المركبات السابقة بظاهرة التراكم ضمن الأجسام الحية، مما يؤدي إلى ارتفاع تركيزها ونشوء أمراض كثيرة ولاسيما السرطان.

هـ) مستويات التركيز للملوثات العضوية:

رأينا أن هناك تنوعا" واسعا" من الملوثات العضوية الدقيقة واختلافا" في تركيزها تبعا لمصدر المياه (مياه سطحية – مياه جوفية – مياه صرف،....،... .)، ولذلك سنحاول تلخيص أهم الملوثات العضوية الدقيقة في المياه السطحية الطبيعية ومجال تراكيزها ونسبة الكربون العضوي المنحل (COD) في الجدول (2 – 15).

الجدول 2 – 15: التصنيف الأساسي للمركبات العضوية الدقيقة في المياه الطبيعية ومستوى تركيزها.

المركب		مجال التركيز	الواحدة	COD %
مواد الدبال		2 – 10	مغ / لتر	40 – 60
الحموض الكربوكسيلية		100 – 600	ميكروغرام / لتر	5 – 8
	حموض دسمة متطايرة	10 – 600	ميكروغرام / لتر	
	حموض دسمة غير متطايرة	100	ميكروغرام / لتر	
الحموض الأمينية		300	ميكروغرام / لتر	2 – 3
	حموض أمينية حرة	50 – 200	ميكروغرام / لتر	
	حموض أمينية مركبة	10 – 300	ميكروغرام / لتر	
هيدرات الكربون		500	ميكروغرام / لتر	5 – 10
الهيدروكربونات		1 – 10	ميكروغرام / لتر	1
مركبات مختلفة	ألديهيدات	< 1	ميكروغرام / لتر	
	أستيرولات	1.0 – 10	ميكروغرام / لتر	
	قلويات عضوية	1	نانوغرام / لتر	
	مركبات عضوية كبريتية	1	نانوغرام / لتر	
	كحول – سيتونات – إيتيرات	1	ميكروغرام / لتر	
	يخضور ومواد أخرى ملونة	1	ميكروغرام / لتر	

2. 4. 4 الملوثات المعدنية الدقيقة:

تصنف الملوثات المعدنية تبعا للتشابه في السمّية أو تبعا للتقنية المستعملة في المعايرة. ويختلف تركيز تلك العناصر في المياه السطحية باختلاف مصادرها:

آ) العناصر القادمة من مصادر طبيعية:

هناك مصدران طبيعيان للملوثات المعدنية هما:

- انتقال العناصر المكونة للقشرة الأرضية إلى المياه السطحية أو الجوفية، مباشرة نتيجة احتكاك الماء بها، أو بطريقة غير مباشرة في أثناء انتقال تلك العناصر مع الغبار إلى المياه السطحية، ويكون مصدر الغبار إما الرياح أو نواتج البراكين التي تنطلق بالجو كغازات لتسقط فيما بعد على هيئة جسيمات دقيقة على المساحات المائية.
- العناصر المعدنية الناتجة عن تفكك المواد الحية الحيوانية أو النباتية، وتنتقل في حالة كونها قادمة من خارج الوسط المائي مع مياه الفيضانات والسيول.

يعدّ الحديد والمنغنيز من أكثر العناصر الداخلة في تركيب القشرة الأرضية (5% حديد، 0.1% منغنيز). ورغم أن الحديد ثلاثي التكافؤ (Fe^{+3}) والمنغنيز رباعي التكافؤ (Mn^{+4}) يكونان النسبة العظمى، فإن الحديد الذائب في الماء ينتج عن انحلال كربونات الحديدي (حديد ثنائي التكافؤ) وكربونات المنغنيز(ثنائي التكافؤ)، ويساعد على عملية الانحلال وجود ثنائي أكسيد الكربون المنحل في المياه الجوفية، وتوضح المعادلتان الآتيتان آلية ذوبانهما في الماء:

$$Fe\,CO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow Fe\,(HCO_3)_2$$

$$Mn\,CO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow Mn\,(HCO_3)_2$$

وتتراوح تراكيز الحديد والمنغنيز في المياه الطبيعية بين 1 و 10 مغ / لتر من الحديد و 0.1 إلى 3 مغ / لتر من المنغنيز، والمعدنان ليسا من العناصر السامة، غير أن وجودهما بتراكيز عالية في المياه الجارية يؤدي إلى الظواهر الآتية:

- ارتفاع نسبة التعكر.
- ترسب أكاسيدها على جدران قنوات النقل.
- إحداث بقع على الألبسة والمواد المنزلية عند استعمالها في شبكة مياه المدينة.
- تسريع عمليات تكاثر البكتريا الحديدية.

ولذلك يفضل التخلص منهما قبل توزيع المياه في شبكات مياه المدينة.

ب) المصادر الناتجة عن الاستعمالات البشرية:

هناك العديد من مصادر الملوثات المعدنية الناتجة عن الاستخدامات البشرية، نذكر منها:

- مياه الصرف الحضرية وما تحمله من عناصر معدنية.

- مياه الصرف الصناعية المحملة بمخلفات المصانع السائلة.
- العناصر المعدنية القادمة مع الهواء الجوي والناتجة عن مداخن المصانع أو عوادم السيارات والمحملة بعناصر معدنية مختلفة، مثل: الرصاص والنيكل والكروم والزئبق وهي تؤدي إلى تلويث المياه السطحية والتربة أيضا".

2. 5 معايير النوعية (Normes de Qualité):

ترتبط معايير النوعية للمياه بمصدر تلك المياه، كما وأن المعايير النوعية المطلوبة مرتبطة بالغاية من استعمال المياه، فنوعية مياه الشرب تختلف عن نوعية مياه المسابح التي تختلف بدورها عن نوعية مياه تربية الأسماك.

يمكن تصنيف المياه إلى خمس مجموعات أساسية طبقا" لاستعمالاتها المختلفة وتتمتع كل مجموعة بخواص ومعايير كمية معينة.

الصنف A1: المياه ذات الجودة العالية وتخلو من التلوث، ويمكن استعمالها للحاجات الأكثر طلبا" للنوعية الجيدة من المياه.

الصنف1 B : نوعية المياه أقل من السابقة ولكنها صالحة لجميع الاستعمالات.

الصنف 2: مياه متوسطة النوعية وتستخدم للري وبعض الصناعات كما وتستخدم لتربية الأسماك والسباحة، ولا يمكن استعمالها للشرب إلا بعد تصفيتها.

الصنف3: مياه ذات نوعية متواضعة وتستخدم للري وللتبريد وللملاحة النهرية.

خارج التصنيف: كل المياه التي تتجاوز معاييرها الصنف (3) تعدَ غير صالحة للكثير من الاستعمالات، بل تبدي خطرا" على البيئة وعلى الصحة العامة.

يلخص الجدول (2 – 16) التراكيز العظمى المسموح بها لكل صنف من المياه طبقا لتصنيف إدارة المجموعة الاقتصادية الأوروبية(.D. C. E. E) في عام 1980.

الجدول 2 – 16: معايير تحليلية لأربع مجموعات أساسية في المياه {37}.

الخاصية	الوحدة	الصنف A1	الصنف B1	الصنف 2	الصنف 3
الناقلية	ميكرو سيمنس / سم	400 ≥	750– 400	1500 – 750	– 1500 3000
درجة الحرارة	م	20 ≥	22 – 20	25 – 22	30 – 25
pH		6.5-8.5	6.5-8.5	6-9	5.5-9.5
المواد المعلقة	مغ / لتر	30 ≥	30 ≥	30 ≥	70 – 30
أكسجين منحل	مغ / لتر	7	7 – 5	5 – 3	–
أكسجين منحل	اشباع %	90	90 – 70	75 – 50	–
DBO_5	مغ / لتر	3 ≥	5 – 3	10 – 5	25 – 10
أكسدة بالبرمنغنات	مغ / لتر	3 ≥	5 – 3	8 – 5	–
DCO	مغ / لتر	20 ≥	25 – 20	40 – 25	80 – 40
NH_4	مغ / لتر	0.1 ≥	0.1 - 0.8	0.5 – 2	8 – 2
NO_3	مغ / لتر	–	–	44 ≥	100 – 44
آزوت كيلدال	مغ / لتر	1 ≥	2 – 1	3 – 2	–
Fe	مغ / لتر	0.5 ≥	0.5 - 1	1 – 1.5	–
Mn	مغ / لتر	0.1 ≥	0.1 – 0.25	0.25 – 0.5	–
F	مغ / لتر	0.7 ≥	0.7 – 1.7	0.7 – 1.7	1.7 <
Cu	مغ / لتر	0.02 ≥	0.02-0.05	0.05 – 1	1 <
Zn	مغ / لتر	0.5 ≥	0.5 - 1	5 – 1	5 <
As	مغ / لتر	0.01 ≥	0.01 ≥	0.01 – 0.05	0.05 <
Cd	مغ / لتر	0.001 ≥	0.001 ≥	0.001 ≥	0.001 <
Cr	مغ / لتر	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 <
CN^-	مغ / لتر	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 <
Pb	مغ / لتر	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 ≥	0.05 <
Se	مغ / لتر	0.01 ≥	0.01 ≥	0.01 ≥	0.01 <
الخاصية	الوحدة	الصنف A1	الصنف B1	الصنف 2	الصنف 3
Hg	مغ / لتر	0.0005 ≥	0.0005 ≥	0.0005 ≥	0.0005 <

الفينولات	مغ / لتر	–	0.001 ≥	0.001 – 0.05	0.05 – 0.5
المنظفات	مغ / لتر	0.2 ≥	0.2 ≥	0.2 – 0.5	0.5 <
كوليفورم	خلية في 100 مل ماء	50 ≥	5000 – 50	50000–5000	–
عصيات قولونية (معدية)	خلية في 100 مل ماء	20 ≥	2000 – 20	20000–2000	–
مكورات برازية	عددها في 100 مل ماء	20 >	1000 – 20	10000–1000	–

لا يمكن تحديد معايير نوعية للمياه الصناعية لأن هناك اختلافا" واسعا" بين نوع وآخر تبعا للمجال الصناعي الذي ستستعمل فيه، وتتراوح المواصفات المطلوبة بين الماء المقطر وماء البحر. أما المياه المخصصة للشرب فمن السهل تحديد معاييرها النوعية، وإن اختلفت قليلا" من نظام لآخر.(راجع الملاحق 1 و2 و3 المتضمنة المعايير السورية).

الفصل الثالث

المواد المنحلة في الماء ودورها في التلوث

قبل الخوض في بحث التلوث، من الضروري تحديد مفهوم التلوث وتفريقه عن مفهوم المواد المؤذية أو الضارة. يقصد عادة بالمواد الضارة أو المؤذية (Nuisibles) كافة النشاطات والأفعال التي تجلب للإنسان خطرا" حقيقيا" على صحته مباشرة أو بطريقة غير مباشرة. أما الملوثات (Polluants) فهي مواد غريبة تصل إلى البيئة الطبيعية (هواء أو ماء) وقد تكون ضارة أو غير ضارة.

بدأ التلوث مع ظهور المجتمعات البشرية، وذلك عن طريق مياه الصرف المنزلية، وانتقالها داخل التربة أو عبر أقنية خاصة، ملوثة المياه السطحية والمياه الجوفية. ولكن التطور الصناعي أدى إلى ظهور مواد جديدة ناتجة عن المخلفات الصناعية، وهي من أهم وأخطر أنواع التلوث في العصر الحالي ولاسيما في البلاد المتقدمة صناعيا".

أدى التطور الزراعي واستعمال كميات كبيرة من المبيدات والأسمدة إلى ظهور نوع آخر من التلوث يعرف بالتلوث الزراعي، ويحدث نتيجة انتقال المبيدات والأسمدة بوساطة الهواء أو مياه السيول مسافات بعيدة وانحلالها في المياه السطحية أو الجوفية.

وهنالك مصادر عرضية للتلوث تحدث نتيجة حادث غير منتظر، كتسرب البترول أو المواد الكيميائية من أنابيب النقل أو الخزانات أو حاملات النفط وغيرها من حوادث التسرب نتيجة أعطال في المحطات الصناعية الكبرى كمحطة توليد الطاقة الذرية أو المصانع الكيميائية.

تصنف الملوثات تبعا" لطبيعتها أيضا" وأهم تلك الأنواع:

- التلوث العضوي: ينشأ هذا النوع عن التلوث بمياه الصرف الحضرية.
- التلوث الكيميائي: ينتج التلوث الكيميائي عن مياه الصرف الصناعية.
- التلوث الفيزيائي: ينشأ عن وجود جسيمات أو نفايات داخل المجرى المائي ويكون مصدرها إما طبيعيا" أو صناعيا".
- التلوث الحراري: ينتج عن طرح مياه صناعية ساخنة ضمن المجرى المائي مما يؤدي إلى رفع درجة حرارته واختلال نظامه الحيوي.
- التلوث الحيوي: ينتج عن وجود العوامل الممرضة في الوسط المائي ويشكل خطورة على الإنسان والحيوانات.

- التلوث الإشعاعي: يعدَ التلوث الإشعاعي من هموم العصر الحديث، لما يحمله من خطورة وانتشار سريع وواسع وقدرة على النفاذ إلى جسم الإنسان والحيوانات والنباتات إضافة إلى تأثيره المديد.

تتلقى الأنهار والبحيرات كميات هائلة من مياه الصرف الحضرية والصناعية الحاملة للملوثات العضوية والمعدنية. ويتحلل جزء من تلك الملوثات مستهلكا" الأكسجين المنحل في الماء، ويرسب جزء آخر في قاع المجرى المائي معطيا" وسطا" ملائما" للعمليات اللاهوائية المنتجة للمواد الضارة (الميتان، كبريت الهيدروجين، وأملاح الأمونيوم الضارة).

3. 1 تشخيص التلوث وقياسه:

3. 1. 1 درجة الحرارة:

تعدّ درجة حرارة البيئة المائية عاملا" مهما" في التوازن القائم ضمنها، والتغير المفاجئ في درجة الحرارة يعود إلى طرح مخلفات صناعية حارة تسبب التلوث الحراري. وأهم الصناعات المسببة له هي الصناعات الكيميائية والبترولية الثقيلة، إضافة إلى تبريد المحركات.

1 – تأثير درجة الحرارة في خواص المياه:

يتأثر بعض خواص الماء بدرجة الحرارة كالكثافة واللزوجة والتوتر السطحي وانحلالية الغازات، وكذلك تؤثر درجة الحرارة في سرعة التفاعلات الكيميائية والكيميائية الحيوية. إن تغير تلك الخواص يترك تأثيرا" واضحا" في عملية التنقية الذاتية، فارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة التفاعلات الكيميائية ويخفض من تركيز الأكسيجين في الوسط المائي وهذان العاملان يؤثران سلبا" في عملية التنقية الذاتية المسؤولة عن إزالة التلوث طبيعيا".

2 – تأثير درجة الحرارة على النباتات والحيوانات المائية:

تؤثر درجة الحرارة على مجرى الحياة داخل الوسط المائي على نحو ملموس. فالتفاعلات الكيميائية الحيوية تتباطأ داخل الوسط المائي مع انخفاض درجة الحرارة حتى تتوقف كليا عند درجة حرارة معينة. بينما الارتفاع الشديد لدرجة الحرارة يؤدي إلى قتل بعض الأنواع من الأحياء المائية، وإلى ظهور أنواع جديدة من النباتات والحيوانات نتيجة زيادة سرعة تكاثرها. ينتج عن تلك التحولات ظهور حالة إخلال بيئي.

3. 1. 2 دليل الهيدروجين pH:

هو قياس لتركيز شوارد الهيدروجين H^+ في الماء، وبالتالي فإنه مهم جدا" لكونه ناتجا" عن عدد كبير من التوازنات الكيميائية الفيزيائية في الوسط المائي، وتتعلق قيمة pH الماء الطبيعي (الماء غير الخاضع لأي إضافات صرفية) بمصدره وبالطبيعة الجيولوجية لمجراه. تكون عادة pH الماء الطبيعي قريبة من القيمة 8، غير أن بعض المياه العابرة لصخور غرانيتية أو ضمن الغابات تكون حمضية (pH = 6). يشكل الماء الطبيعي عادة وسطا" موقيا" غير قابل لتحولات سريعة في دليله الهيدروجيني، وذلك لاحتوائه على العديد من التوازنات بين الشوارد فيه:

$$H_2O \leftrightarrow H^+ + OH^-$$

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{--}$$

$$H_3PO_4 \leftrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$$

$$H_2PO_4^- \leftrightarrow H^+ + HPO_4^{--}$$

$$H_2S \leftrightarrow H^+ + HS^-$$

$$HS^- \leftrightarrow H^+ + S^{--}$$

تعدَ مياه الصرف المنزلية معتدلة أو قاعدية ضعيفة، وتمتلك قدرة موقية عالية جدا" مما يجعل تأثيرها في pH المجرى المائي المطروحة إليه خفيفا" أو معدوما"، بينما مياه الصرف الصناعية مختلفة في تأثيرها طبقا لمصدرها الصناعي، فإن مياه الصرف الناتجة عن مصانع الغاز المعتمدة على حرق الخشب أو الفحم تكون حمضية (pH= 3 – 3.5)، بينما تعطي وحدات التقصير (التبييض) في صناعة النسيج مياه صرف قاعدية (pH = 9 – 11).

1 – تأثير دليل الهيدروجين في النباتات والحيوانات المائية:

تعيش النباتات والحيوانات المائية طبيعيا" في وسط تتراوح قيمة دليله الهيدروجيني بين 5 و 9، علما" أن النباتات المائية تنمو في وسط قلوي على نحو أفضل من الوسط الحمضي. أما تأثير دليل الهيدروجين في الأسماك فإنه أكثر تعقيدا"، وهو مرتبط بالخواص الأخرى للوسط المائي كدرجة الحرارة والأكسجين المنحل والملوحة الكلية للماء. يضعف أو ينعدم تأثير آزوت الأمونيا على الحيوانات المائية في وسط حمضي أو ضعيف القلوية ($PH \leq 8$) نظرا" لوجوده بحالة شاردية (NH_4^+)، بينما تزداد سميته بازدياد قاعدية الوسط (ازدياد قيمة pH) لوجوده عند

ذلك بالصيغة الجزيئية غير المتشردة (NH_4OH) المتمتعة بفعل سمي أعلى بكثير من شوارد الأمونيوم. غير أن مركبات كبريت الصوديوم تسلك سلوكا مغايرا" للأمونيوم إذ تزداد سميتها في الوسط الحمضي نتيجة تحولها إلى مركبات كبريت الهيدروجين غير المتشردة والسامة.

2 – تأثير دليل الهيدروجين في تنقية مياه الشرب:

يؤدي دليل الهيدروجين دورا مهما في مراحل تنقية مياه الشرب ولاسيما في مرحلتي التكتل والكلورة، إضافة إلى دوره في التآكل الحادث ضمن أنابيب النقل والتجهيزات المستخدمة في محطة المعالجة أو محطات الضخ.

تحدث عملية التعقيم بكلورة المياه المتمتعة بدليل هيدروجيني بين 7 و 8.5 خلال عشر دقائق، بينما يلزم ضعف ذلك الزمن للمياه الأكثر قاعدية التي تكون قيمة دليلها الهيدروجيني بين 8 و 9 من أجل ذات التركيز من الكلور ودرجة الحرارة نفسها. يمكن تفسير هذه الظاهرة بتأثير قيمة دليل الهيدروجين في درجة تشرد حمض الهبوكلوريت.

3. 1. 3 الناقلية الكهربائية:

تحوي المياه الطبيعية على تراكيز خفيفة من الأملاح المعدنية المتشردة وبالتالي فجميعها تشارك في الناقلية الكهربائية. وتنتج الناقلية العالية في الوسط المائي عن فعل طبيعي (طبيعة صخور الحوض أو المجرى المائي) أو بفعل بشري نتيجة مياه الصرف المطروحة ضمن المجرى المائي.

1 – تأثير الناقلية على النباتات والحيوانات المائية:

تحدث الأملاح المنحلة ضغطا" تناضحيا" على الخلايا الحية الموجودة في الوسط المائي، ونظرا" لكون تلك الخلايا قادرة على تحمل ضغط معيّن فإن زيادة الضغط التناضحي نتيجة ارتفاع الملوحة يؤدي إلى اختراق بعض الأملاح لأغشية الخلايا وإتلافها. تعدَ الناقلية الكهربائية المحصورة بين 150 و 750 ميكروسمنس / سم مناسبة لوجود حياة طبيعية ضمن البيئة المائية، أما في حالة تجاوزها القيمة 3000 ميكروسمنس / سم فتصبح الشروط غير ملائمة لحدوث التوازن البيئي الطبيعي.

2 – أهمية الناقلية للمياه المستخدمة في الري:

تصنف الناقلية ضمن الشروط الأساسية لاختيار المياه الصالحة للري. فالمياه المتمتعة بناقلية أقل من 750 ميكروسمنس / سم تكون جيدة للري، أما المياه ذات الناقلية العالية (أكبر من 1500 ميكروسمنس / سم) فإنها غير صالحة للري.

3 – أهمية الناقلية في تصنيف المياه الصالحة للشرب:

صنفت منظمة الصحة العالمية (OMS) المياه المخصصة للشرب بدلالة الناقلية الكهربائية كالآتي:

الجدول 3 - 1: ملوحة المياه.

نوعية المياه	مجال الناقلية، ميكروسيمنس / سم
ممتازة للشرب	50 - 400
جيدة للشرب	400 - 750
متوسطة الجودة للشرب	750 - 1500
ذات معدنية عالية	أكثر من 1500

3. 1. 4 المواد المعلقة: MES

تحتوي المياه الطبيعية مواد معلقة ناتجة عن التآكل الطبيعي للمجرى المائي، وعن تحلل المواد العضوية ذات الأصل النباتي أو الحيواني. أما المياه السطحية العابرة مجاريها لمناطق سكنية فإنها تحمل مواد معلقة إضافية ناتجة عن المخلفات الحضرية والصناعية. تكون نسبة 30 مليغرام في اللتر من المواد المعلقة طبيعية وجيدة في المياه السطحية، بينما إذا تجاوزت قيمتها 70 مليغرام في اللتر يصبح الماء ملوثا". إن وجود المواد المعلقة في المياه السطحية يقلل من اختراق الضوء للبيئة المائية، وبالتالي تتناقص عملية التكاثر فيها. وكذلك فإن وجود المواد المعلقة يؤدي إلى هبوط في كمية الأكسجين المنحل في الماء مما يضر بالحياة ضمن البيئة المائية، ويخفض من مردود عملية التنقية الذاتية. كما أن ترسبها على أوراق النباتات المائية يؤدي إلى انحسار عملية التركيب الضوئي، وبالتالي اختلال في عملية أكسجة الماء.

تترسب المواد المعلقة عندما تنخفض سرعة جريان الماء وتكوّن طبقة من الطمي في قاع المجرى المائي. وتكون تلك الطبقة وسطا مناسبا للتفاعلات اللاهوائية نتيجة احتوائها على المركبات العضوية، وانعدام الأكسجين المنحل، تؤدي تلك التفاعلات إلى نشوء مركبات سامة (مركبات كبريتية، وفُسفورية، وأمينية،....،...).

3. 1. 5 الأكسجين المنحل:

يعدُّ الأكسجين المنحل في الماء عاملا" أساسيا" في استمرار الحياة في الوسط المائي، إضافة إلى دوره في عملية التنقية الذاتية للوسط المائي، وينحل في الماء نتيجة عملية التبادل بين الطور الغازي (الهواء) والطور السائل (الماء)، ويتأثر هذا التبادل بعدة عوامل هي: الضغط الجوي وضغط البخار ودرجة الحرارة وملوحة المياه. ونظرا" لعدم تغير العامل الأول بشكل ملحوظ، وارتباط العامل الثاني بدرجة الحرارة، فإن العاملين الأخيرين يحددان الكمية المنحلة من الأكسجين في الماء.

يحسب الانحلال الإشباعي (الانحلال الأعظمي) للأكسجين تحت الضغط الجوي العادي من علاقة تروسدال وداونينغ (Truesdale , Downing, 1954) التي استخلصت من القياسات التجريبية في مجال من درجة الحرارة بين الصفر و 40^o درجة مئوية وهي كالآتي:

$$\mathbf{Cs = 14.61 - 0.3943\ t + 0.007714\ t^2 - 0.0000656\ t^3 -}$$
$$\mathbf{S\,(0.0841 - 0.00256\ t + 0.0000374\ t^3)}$$

حيث إن: t – درجة الحرارة، Cs – الانحلال الإشباعي مغ / ليتر في الدرجة t,   S–
الملوحة الكلية مقاسه بالغرام في 1000 غرام ماء.

تتمتع المياه السطحية، عموما"، بتركيز من الأكسجين قريب من حالة الإشباع، علما" أن تركيزه خاضع لعدة ظواهر متعارضة في تأثيرها، أهمها:

- استهلاك الأكسجين في التفاعلات الكيميائية الحيوية في الماء.
- امتصاص سطح الماء للأكسجين الهوائي الملامس له.
- تساهم تفاعلات التركيب الضوئي في رفع نسبة الأكسجين المنحل.

1) تأثير الأكسجين المنحل على النباتات والحيوانات المائية:

ليس من السهل تحديد الحد الأدنى من الأكسجين المنحل اللازم لاستمرار حياة الأسماك، نظرا" إلى ارتباطه بنوع السمك وعمره وبالشروط الأخرى للبيئة المائية. نعرض في الجدول (3 – 2) نتائج إحدى الدراسات على الحد الأدنى من الأكسجين المنحل لاستمرار حياة بعض الأنواع من الأسماك بدلالة درجة الحرارة.

الجدول 3 - 2:الحد الأدنى من الأكسجين المنحل (مغ / لتر) لاستمرار حياة الأسماك بدلالة درجة الحرارة {20}.

درجة الحرارة المئوية / نوع السمك	10	16	20
الترويت Truit	1.90	3.00	2.65
الفرخ(سمك نهري) Perche	1.00	1.35	1.25
الشبوط (الكارب) Carpe	0.5	1.75	3.75

2) أهمية الأكسجين المنحل في مياه الشرب:

رغم أن ارتفاع نسبة الأكسجين في الماء ليست عاملا" سلبيا" من الناحية الفيزيولوجية (الوظائفية)، إلا أنه يعدّ سلبيا" من الناحية التقنية ولاسيما في عملية التآكل للمواد المعدنية المستعملة في توزيع وتخزين المياه، ويجب أن يتمتع ماء الشرب بدرجة من الإشباع لا تقل عن 40% من الأكسجين.

3. 1. 6 الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO):

إن النفايات الحضرية والصناعية المطروحة في المجرى المائي مصدرٌ مهم للتلوث العضوي في المياه السطحية بما تحتويه من حمولة عالية من المركبات العضوية، غير أن الأحياء الدقيقة في الوسط المائي تقوم بعملية تفكيك لتلك المركبات العضوية الطبيعية أو القادمة مع مياه الصرف، ضمن عملية هامة تسمى **التنقية الذاتية** (Auto épuration) التي تستهلك الأكسجين المنحل. ولذلك يكون النقص في الأكسجين المنحل خلال فترة زمنية محددة (24 ساعة أو 5 أيام) دليلا" على فعالية عملية التنقية الذاتية من جهة، ودليلا" على التلوث العضوي من جهة أخرى، ويسمى الطلب الحيوي الكيميائي للأكسجين.

يحدث التفاعل الحيوي الكيميائي عبر مرحلتين أساسيتين: تتعلق المرحلة الأولى بتحول المركبات الكربونية، وهي تبدأ فورا" وتنتهي خلال فترة لاتتجاوز 20 يوما" في الدرجة 20 مئوية، حيث تتحول في هذه المرحلة كافة المركبات الكربونية القابلة للتحلل الحيوي إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون وماء. وتبدأ المرحلة الثانية بعد عشرة أيام في حالة وجود البكتريا والمواد الخاضعة للتحول، وتخص هذه المرحلة المركبات الآزوتية وتستمر فترة طويلة. ونعبر عن استهلاك

الأكسجين خلال خمسة أيام في وسط معزول عن الهواء وفي الدرجة 20 مئوية بالطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين ورمزه DBO_5.

يمكن تلخيص أهداف قياس الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين بالآتي:

- تحديد كمية المواد العضوية الموجودة والقابلة للتحلل.
- معرفة قدرة الوسط على القيام بعملية التنقية الذاتية.
- تحديد درجة التلوث.

تعتمد أكثر الصيغ الرياضية لدراسة التحلل (التفكك) العضوي على الفرضية التي تنص على طبيعة التحلل الحيوي بدلالة الزمن هي علاقة من الدرجة الأولى:

$$DBO_t = DBO_T \times 10^{-Kt}$$

حيث إن: DBO_t الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين في الزمن t.

DBO_T الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين الكامل.

K معامل يتحول تبعا" لطبيعة المواد العضوية ولدرجة الحرارة.

يؤدي ارتفاع قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين في وسط مائي إلى استهلاك الأكسجين المنحل نتيجة عملية تحلل المركبات العضوية، وبالتالي فإن هذا التناقص في الأكسجين يمثل خطورة على حياة النباتات والأسماك في الوسط المائي. ولذلك فإن هذا المقياس مهم في تقدير درجة التلوث العضوي للوسط المائي. ويجب أن تؤخذ في الحسبان الظروف المحيطة بالوسط المائي عند دراسة تأثير الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين على البيئة المائية، وأهم تلك العوامل الطقس وهيدروجولوجيا المنطقة، وذلك لمعرفة القدرات الممكنة لإعادة أكسجة الماء وتقدير سرعة التحول الحيوي.

يفضل أن تكون قيمة DBO_5 معدومة في مياه الشرب، ولكن إذا كانت تلك القيمة أقل من 3 مغ / لتر، يكون الماء شروبا" أيضا"، أما إذا كانت القيمة أكبر من 3 مغ / لتر فإن الماء يخضع للتصنيف الآتي:

$3 < DBO_5 < 5$ مغ / لتر ماء شروب خفيف التلوث.

$5 < DBO_5 < 10$ مغ / لتر ماء غير شروب و نوعيته مقبولة للعديد من الاستعمالات.

$10 < DBO_5 < 25$ مغ / لتر مياه متواضعة وتستخدم للري.

$25 < DBO_5$ مغ / لتر مياه ملوثة ولا يمكن استعمالها قبل المعالجة.

3. 1. 7 الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) والأكسدة بالبرمنغنات:

تنشأ المواد العضوية الطبيعية في الوسط المائي عن عملية غسيل التربة بمياه السيول والفيضانات، أو نتيجة عملية الاستقلاب (Métabolisme) أي مجمل الأفعال الحيوية المنتجة للمواد العضوية أو المفككة لها ويقوم بها أي من الأحياء. وتتكون تلك المركبات من السكريات والبروتينات والحموض الأمينية وغيرها، غير أن التلوث العضوي يعود بشكل أساسي إلى مياه الصرف الصناعية ومياه الصرف الحضرية. يمكن تقسيم الملوثات العضوية إلى نوعين: النوع الاول يتحلل بالطريقة الحيوية ويمكن تقديره بقياس DBO، أما النوع الثاني فهو غير قابل للتحلل حيويا"، لذلك يجب اعتماد مقاييس أخرى لتحديد التلوث العضوي الكامل، وتعدّ طريقة أكسدة المركبات العضوية باستعمال مؤكسدات قوية (ثنائي كرومات البوتاسيوم، برمنغنات المغنزيوم) وضمن شروط محددة معيارا" جيدا" لتحديد التلوث العضوي، وهناك مقياسان لتحقيق ذلك:

- الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO): يُجرى هذا القياس باستعمال ثنائي كرومات البوتاسيوم ضمن وسط حمضي (حمض الكبريت) وفي درجة حرارة الغليان فترة محددة. يعبر عن النتيجة بكمية الأكسجين المستهلكة في عملية الأكسدة ويسمى الطلب الكيميائي على الأكسجين .
- الأكسدة بالبرمنغنات: تشمل هذه الطريقة أكسدة العينة المائية بمحلول برمنغنات البوتاسيوم في وسط حمضي وفي شروط ثابته. ولهذه الطريقة معياران مختلفان من حيث الشروط والنتيجة، المعيار الأول إجراء الأكسدة على البارد، والمعيار الثاني أكسدة على الساخن، ويعبر عن النتيجة في الحالتين بكمية الأكسجين المستهلكة للأكسدة.

يكون الماء شروبا" إذا كانت قيمة الأكسدة بالبرمنغنات أقل من 5 مغ / لتر، ولكن يفضل أن تكون أقل من 2 مغ / لتر. أما فيما يتعلق بالطلب الكيميائي على الأكسجين، فيمكن تصنيف الماء ضمن أربعة أنواع رئيسية هي:

DCO < 20 مغ / لتر، ماء شروب وخالٍ من التلوث العضوي.

20 < DCO < 25 مغ / لتر، ماء شروب وملوث قليلا".

25 < DCO < 40 مغ / لتر، ماء غير شروب وذو نوعية مقبولة للعديد من الاستعمالات.

40 < DCO < 80 مغ / لتر، مياه متواضعة النوعية وتستخدم للري.

تخترق بعض الملوثات العضوية الدقيقة الضارة بالصحة محطات المعالجة لمياه الصرف الحضرية أو الصناعية، وتمتزج بمياه الأنهار، وتسير معها دون أن تتأثر بالتنقية الذاتية في الوسط المائي، ولذلك إذا وصلت إلى مياه الشرب فإنها تكون خطرة على الصحة العامة، نظرا" إلى سميتها العالية أحيانا". كما تؤثر تلك الملوثات على النباتات المائية والبكتريا ضمن الوسط المائي.

3. 2 الشوارد السالبة في الوسط المائي ودورها في التلوث:

3. 2. 1 شوارد الكلور (Cl^-):

تحتوي المياه السطحية والجوفية جميعها شوارد الكلور بتراكيز مختلفة، وأهم مصادر شوارد الكلور هي:

- ذوبان أملاح الكلور في المياه المرتشحة خلال التربة الملحية.
- تسرب مياه البحر إلى الأحواض السطحية أو الجوفية.
- النفايات الإنسانية والحيوانية.
- نفايات بعض الصناعات كالممالح والمناجم والصناعات البتركيميائية وغيرها.

تحتوي المياه الجوفية عادة بين (10 – 20 مغ / لتر) من شوارد الكلور، غير أن بعض أنواع المياه الجوفية ضمن طبقات صخرية معينة يمكن أن تحتوي أكثر من 100 مغ /لتر من شوارد الكلور. أما تركيز شوارد الكلور في المياه السطحية فإنه يزداد باطراد نتيجة استعماله الواسع في الصناعات المختلفة وعدم إمكانية التخلص منها بالمعالجة في محطات المعالجة وفي محطات التصفية (فمثلا" ازداد تركيز شوارد الكلور بنسبة 260% في بحيرة ليمان في سويسرا بين عام 1961 و عام 1999) {45}.

لايعدّ الكلور الشاردي مادة سامة أو مؤذية، ولكن ارتفاع تركيزه يؤثر على التوازن التناضحي (الأُسموزي) للخلايا الحية في الوسط المائي. أما فيما يتعلق بمياه الشرب فإنه يعطي طعم الملوحة إذا تجاوز تركيزه (100 مغ / لتر)، ويجب أن لاتكون الملوحة عالية في المياه المخصصة للري لسببين هما:

- يصبح مؤذيا" عند تركيز معين تبعا" لنوع النبات.
- يؤدي تراكمه في التربة إلى ارتفاع ملوحتها.

تحدد منظمة الصحة العالمية (OMS) نسبة شوارد الكلور في مياه الشرب بمقدار (250 مغ / لتر) كحد أقصى.

3. 2. 2 شوارد الكبريتات:

ترتبط شوارد الكبريتات بالشوارد الموجبة في الماء، مثل شوارد الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم. وأهم مصدر طبيعي لها هو عملية انحلال الجبس ($CaSO_4$,H_2O)، وأكسدة الكبريت إلى كبريتات بالهواء الجوي في الوسط المائي. أما المصادر الصناعية للكبريتات فهي عديدة ومتنوعة، وإن معظم الصناعات تستخدم حموض الكبريتات وأملاحها وتطرحها مع مياه الصرف.

تحدد منظمة الصحة العالمية نسبة الكبريتات في مياه الشرب بمقدار (200– 400 مغ /لتر)، علما" أن وجود نسبة عالية منها لايكون خطرا" على حياة الإنسان، وإن كان يسبب اضطرابات إسهالية وخاصة عند الأطفال.

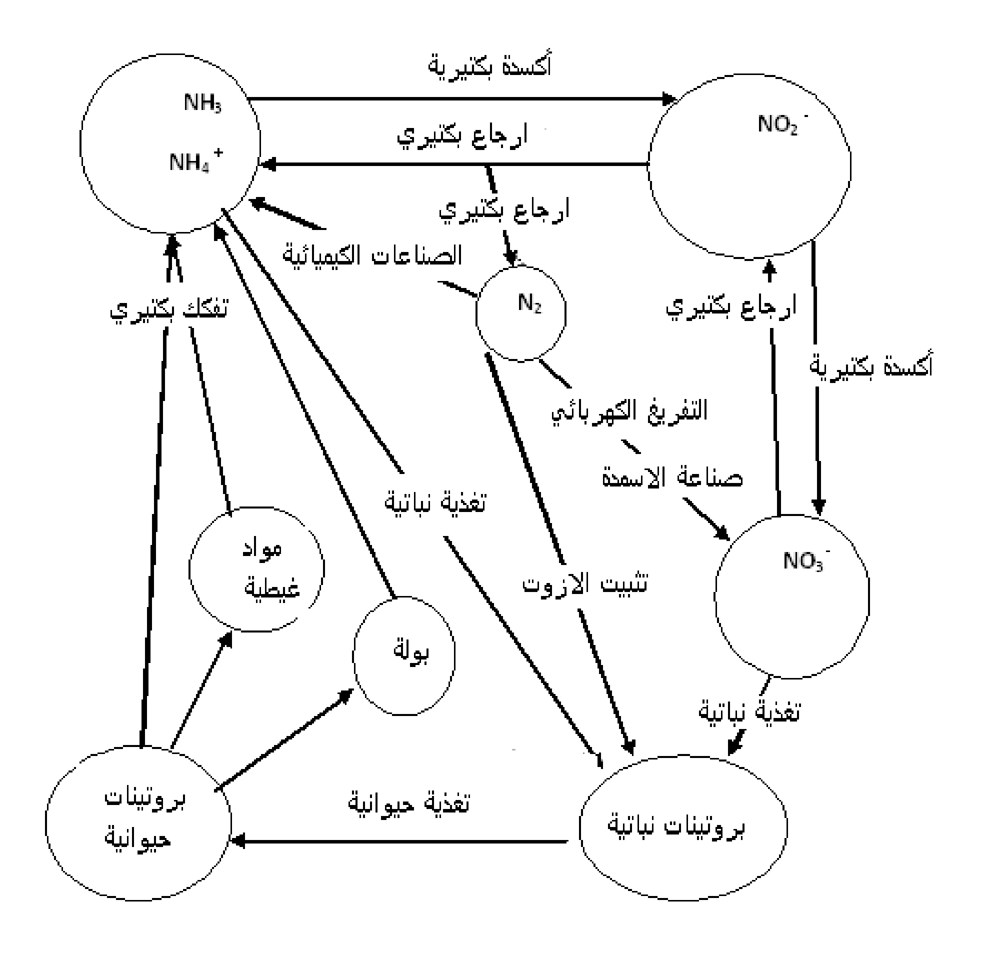
إن النباتات أقل حساسية تجاه شوارد الكبريتات من شوارد الكلور، أما مياه الشرب المخصصة للحيوانات فيجب ألا تتجاوز نسبة الكبريتات فيها (1 غ / لتر). تزيد شوارد الكبريتات من سرعة إنتاج الأشنيات قي الوسط المائي.

3. 2. 3 شوارد النترات NO_3^-:

ظهر منذ فترة طويلة (في الثمانينيات من القرن الماضي) اهتمام كبير بمشكلة إرتفاع تركيز النترات في المياه الجوفية والسطحية على حد سواء، وذلك بعد أن أثبتت الأبحاث الطبية مضار النترات على الصحة العامة وخاصة الأطفال الرضع، إضافة إلى تزايد تركيز النترات في المياه السطحية والجوفية نتيجة التوسع الكبير في استعمال الأسمدة الكيميائية. إن تحديد تلوث المياه بالنترات عملية صعبة نتيجة التحولات المستمرة للآزوت ضمن دورة الآزوت (الشكل 3 – 1)،

فالنترات تمثل المرحلة النهائية لأكسدة المركبات العضوية الآزوتية، ولذلك فإن وجودها في المياه الملوثة دليل على سير عملية التنقية الذاتية.

إن مصادر النترات في المياه عديدة ومتنوعة منها المصدر الطبيعي نتيجة انحلال مركبات النترات في المجرى المائي ولكن نسبتها ضعيفة جدا" ولا تتعدى (1 مغ / لتر)، وتنتج النترات عن عملية الأكسدة البكترية للنفايات العضوية الآزوتية، ولكن النسبة العظمى من النترات في المياه السطحية قادمة من استعمال الأسمدة الآزوتية في الزراعة، (وقد تصل إلى 60%)، وتلقى الهكتار الواحد المزروع ما يعادل 188 كغ من الأسمدة في أوروبا و 146 كغ في اليابان و 30 كغ في آسيا و 15 كغ في أمريكا اللاتينية و 4 كغ في أفريقيا. يستهلك النبات جزءا" من هذه الكمية، وينتقل الجزء الآخر إلى المياه السطحية عبر السيول وإلى المياه الجوفية عبر طبقات الأرض النفوذة. وإذا ما حدث عام من الجفاف فإن معظم كمية السماد تنتقل إلى المياه نتيجة عدم امتصاصها من قبل النباتات، وهذه الحالة تتكرر كثيرا" وخاصة في منطقتنا العربية. يضاف إلى ذلك النفايات الصناعية الحاوية على النترات أو المركبات الآزوتية التي تتحول إلى نترات ضمن التفاعلات الكيميائية أو الكيميائية الحيوية في الوسط المائي.



الشكل 3-1 دورة الآزوت في الطبيعة.

لقد أظهرت الدراسات التي قامت بها وكالة حماية البيئة الأوروبية (EEA) بأن أكثر من 85% من أراضي أوروبا الزراعية تعاني من مشكلة تلوث المياه الجوفية بالنترات، وأن 11% من المياه الجوفية في ألمانيا تزيد فيها تراكيز النترات على 50 مغ/ ليتر، وأن 3.4 مليون نسمة في فرنسا يشربون مياها" تصل تراكيز النترات فيها إلى الحد الأقصى المسموح به (تقرير المعهد الفرنسي للبيئة IFEN عام 2006)، إذا" فالظاهرة عالمية. تبين دراسات مديرية البيئة في حمص على ظاهرة ارتفاع نسبة النترات في المياه الجوفية المستعملة للشرب في قرية تل الشور القريبة من الشركة العامة للأسمدة، وبنتيجة إجراء التحاليل لمياه البئر المغذي لشبكة مياه شرب هذه القرية، تبين وجود النترات وبنسب تترواح بين 45 مغ/لتر إلى 286.5 مغ/لتر أما النتريت فتراوحت

نسبته بين 0.05 مغ/لتر إلى 3.5 مغ / لتر. ويشكل حوض دمشق أبرز المواقع في سورية التي تتركز فيها مشكلة زيادة النترات على الحدود المسموحة لمياه الشرب، حيث وصل تركيز النترات إلى 242 مغ/ لتر في منطقة الشيفونية وإلى 150 مغ/لتر في الحمورية في عام 2006 {121}.

1) مضار النترات على الصحة العامة:

تسبب النترات حالة اختناق نتيجة نقص الأكسجين في الدم ولاسيما عند الأطفال الرضع، وذلك بسبب تحول النترات إلى نتريت داخل الجهاز الهضمي للإنسان، ويحدث ذلك عند استهلاك الماء الحاوي على تراكيز أعلى من 46 مغ / لتر. تملك النترات القدرة على أكسدة الهيموغلوبين إلى ميتيموغلوبين عندما تصل إلى الدم، وهذا الأخير غير قادر على أداء دور حامل الأكسجين الذي يقوم به الهيموغلوبين. إن جسم الإنسان غير حديث الولادة يملك نظام دفع لهذه الحالة عن طريق وجود إنزيمات تعيد تحويل الميتيموغلوبين إلى الهيموغلوبين، ولكن حديثي الولادة لا يمتلكون هذه الميزة، مما يؤدي إلى موتهم بالاختناق نتيجة نقص الأكسجين. كما أن احتمال تكوين النيتروزامين (*Nitrosamines*) ومركبات أمينية أخرى نتيجة وجود تراكيز عالية من النترات في مياه الشرب يعدّ خطرا" حقيقيا" على حياة الإنسان وخاصة الإصابة بمرض سرطان المعدة. ويعتقد أن امتصاص جسم الإنسان البالغ لكمية تتجاوز 500 مليغرام من النترات يؤدي إلى التهاب الغشاء المعوي. وتحدد منظمة الصحة العالمية نسبة النترات في مياه الشرب بمقدار 50 مغ/ لتر كحد أقصى وكمية النترات التي يمكن أن تدخل جسم الإنسان دون أن تتسبب له بأذى أو بضرر صحي بمقدار 3.65 مغ لكل 1 كغ من وزن الجسم .

2) تأثير النترات في البيئة المائية:

تستهلك عملية التنقية الذاتية الأكسجين المنحل بالماء، ولذلك فإن وجود النترات يعوّض قسما" منه نتيجة تفاعل الإرجاع البكتري للنترات مجنبا البيئة المائية التفاعلات اللاهوائية المنتجة لمواد سامة. كما أن النترات تدخل على نحو غير مباشر في عملية تسريع التركيب الضوئي المنتجة للأكسجين داخل البيئة المائية. ولكن ارتفاع نسبتها في المياه السطحية يمكن أن يكون لها مساوئ وخاصة عند ترافق ذلك مع وجود الفوسفات حيث تتسرع عملية ازدهار الطحالب.

3. 2. 4 شوارد النتريت (NO_2^-):

تمثل شوارد النتريت مرحلة انتقالية بين شوارد النترات وشوارد الأمونيوم ضمن عملية الأكسدة والإرجاع لهما، ولذلك فإن شوارد النتريت في الوسط المائي إما تكون ناتجة عن إرجاع شوارد النترات أو أكسدة شوارد الأمونيوم وليس هناك مصدر طبيعي مباشر لشوارد النتريت.

تنتج شاردة النتريت عن إرجاع النترات في الوسط المائي أو في جسم الإنسان ووجودها يؤدي إلى انخفاض الضغط عند الكبار وحالة اختناق عند الصغار نتيجة نقص الأكسجين بالدم. إن جزءا" بسيطا" من النترات فقط يتحول إلى نتريت بفعل بعض أنواع البكتريا في جسم الإنسان, ولاسيما في الفم, والنتريت هو الأخطر على الصحة العامة قياسا بشاردة النترات، لأنه مركب نشيط جدا" من الناحية الكيميائية (يقوم بالأكسدة والإرجاع)، قادر على التفاعل مع الهيموغلوبين في دم الإنسان مما يؤدي إلى تخريب الوظيفة الرئيسة له، أي نقل الأكسجين من الرئتين إلى جميع خلايا الجسم. وهكذا تتحول شاردة الحديد ثنائي التكافؤ إلى حديد ثلاثي التكافؤ في الهيموغلوبين بتأثير النتريت، مما يفقده القدرة على نقل الأوكسجين إلى خلايا الجسم، فتظهر أعراض تسمم في الدم حين تصل نسبة الميتموغلوبين إلى نحو 10% من الوزن الكلي للهيموغلوبين في كريات الدم الحمراء وعندما تصل هذه النسبة إلى 20% يحدث اضطراب في النبض والتنفس، أما عند وصولها إلى 70% فتحدث الوفاة عند الإنسان. ولا يقتصر دور شاردة النتريت التخريبي على تعطيل آلية نقل الأكسجين بل يتعداه إلى تكوين مادة (النتروز أمين) التي ثبت علميا" بأنها مسرطنة فأدرجت في قائمة المواد الخطرة المسرطنة وهي تسبب أنواعا مختلفة من السرطانات مثل سرطان المعدة والبنكرياس والكبد والرئتين، وتتكون عندما تتفاعل الأمينات في الجسم مع شاردة النتريت، وتحدد كمية النتريت التي يمكن أن تدخل الجسم بمقدار 0.133 مغ لكل 1 كغ من وزن الجسم.

أما وجود شاردة النتريت في المياه السطحية بتراكيز عالية فإنها تسبب ضررا" للأسماك، حيث تبين أن الأسماك تموت في المياه الحاوية على تركيز أعلى من 50 مغ / لتر من النتريت خلال 15 يوما".

3. 2. 5 شوارد الفوسفات PO_4^{-3}:

تبلغ كمية مركبات الفُسفور التي تحملها مياه الصرف الزراعي، ومياه الجريان السطحي، والمياه الجوفية، من المناطق الزراعية إلى المسطحات المائية قدراً لا يستهان به، وفي بعض المناطق الزراعية، تزيد كمية مركبات الفُسفور المنقولة إلى المسطحات المائية من المخصبات الزراعية،

على كميات مركبات الفُسفور الواردة إلى المسطحات المائية، عن طريق مياه الصرف الصحي والصناعي. معظم مركبات الفُسفور ثابتة من الناحية الكيميائية بنسبة كبيرة، أي أنها لا تتفكك بسرعة، بل تبقى في التربة والمياه زمناً طويلاً. كما تتصف مركبات الفُسفور بسميتها لكل من الإنسان والحيوان، إذا وصل تركيزها في الجسم إلى حد معين.

تنشأ الفوسفات المنحلة في المياه السطحية من مصدر طبيعي (تفكك المواد الحية، ذوبان الأملاح الفوسفاتية في المياه الجارية،...،... .) ومصدر صناعي (صناعة الأسمدة، صناعة المنظفات،...،... .) ومن مصدر زراعي (الأسمدة الفوسفاتية).

تكون شوارد الفوسفات في الماء بصيغ مختلفة تبعا لقيم pH الوسط، فالمياه الطبيعية ($pH = 5 - 8$) تحوي شوارد الفوسفات أحادية وثنائية الهيدروجين ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}). تنحل فوسفات المعادن القلوية بشكل جيد في الماء، وتختلف انحلالية المعادن الأخرى بنوعية الشاردة المعدنية.

يفضل ألا يتجاوز تركيز الفوسفات في المياه السطحية 1 مغ / لتر محسوبا" على صيغة خماسي أكسيد الفُسفور (P_2O_5)، ويعدّ وجوده في المياه الجوفية دليلا" على التلوث البرازي أحيانا". يقوم ثلاثي الفوسفات باصطياد شوارد الكالسيوم في الماء، ولذلك يستعمل على نطاق واسع مع المنظفات، ويؤلف الفوسفات المنحل في المياه السطحية والقادم من مياه الصرف الحضرية نحو 60% من الفوسفات الكلي المنحل، وفقط 30% قادمة مع مياه الصرف الصناعية، والنسبة المتبقية والبالغة 10 % مصدرها الأسمدة المستعملة في الزراعة.

تحدد منظمة الصحة العالمية تركيزا" أعظميا" مقبولا" في مياه الشرب قدره 5 مغ / لتر من الفوسفات محسوبا" على صيغة خماسي أكسيد الفُسفور (P_2O_5). ويحدث التركيز المرتفع من الفوسفات في مياه الشرب حالة تقيء وإسهال عند الإنسان والحيوان. أما وجود الفوسفات في مياه الري، فإنه يكوّن مادة مغذية للنبات، وينطبق ذلك على الأسماك في البيئة المائية التي تتغذى بمادة الفوسفات. ويقود ارتفاع نسبة مركبات الفُسفور في مياه البحيرات إلى زيادة في نمو الطحالب وتكاثرها، إلى حد لا تستطيع الأحياء المائية في البحيرة استهلاك هذه الكميات من الطحالب، مما يجعل قدرا" كبيرا" من هذه الطحالب يموت ويترسب إلى قاع البحيرة، وهو ما يعرف بظاهرة الإثراء الغذائي (Eutrophisation). ويتطلب تحلل بقايا الطحالب المترسبة في القاع نسبة عالية من الأكسجين المذاب في الماء. ويجري هذا الطلب الزائد على الأكسجين المذاب في الماء على حساب احتياجات الحيوانات المائية في البحيرة، ما يجبر هذه الحيوانات على الهجرة من البحيرة التي تدنت فيها نسبة الأكسجين المذاب. وينتج عن التحلل اللاهوائي في قاع الحوض المائي غازات سامة مثل الميتان وكبريت الهيدروجين والأمونيا.

إن المشكلة الأساسية الناتجة عن ظاهرة الإثراء الغذائي تظهر في محطات تنقية مياه الشرب، مما دعا الصناعيين في أوروبا منذ عشرات السنين إلى استبدال الفوسفات المستعمل في المواد المنظفة بمواد بديلة.

3. 2. 6 الكربونات والكربونات الحمضية HCO_3^- , CO_3^{--}:

يتعلق تركيز الكربونات في الماء بشروط التوازن القائمة بين الوسط المائي من جهة، والطورين المحيطين به (الطور الصلب والطور الغازي) من جهة أخرى. ينشأ ذلك التوازن بين أطوار ثلاثة، تتمثل بالصخور الصلبة المحيطة بالماء وغاز ثنائي أكسيد الكربون في الهواء والماء ذاته. إن وجود تركيز مرتفع من غاز ثنائي أكسيد الكربون والكربونات الحمضية في مياه الشرب لا يشكل خطورة على المستهلك لتلك المياه مباشرة, غير أن ارتفاع نسبة غاز ثنائي أكسيد الكربون في الماء، يؤدي إلى زيادة ملموسة في انحلالية النحاس والرصاص في حالة كانت أنابيب النقل تحتوي تلك العناصر، مما يسبب عند ذلك خطرا" على الصحة.

3. 2. 7 شوارد الفلور F^-:

تظهر شوارد الفلور في المياه الطبيعية نتيجة انحلال مركبات الفلور (فلور الألمنيوم، فلور الصوديوم، فلور الكالسيوم،...،... .) الداخلة في تركيب بعض الصخور المكونة للحوض الجوفي أو المجرى السطحي للمياه الطبيعية. يضاف إلى المصدر الطبيعي السابق مصدر آخر غير طبيعي وناتج عن مياه الصرف الحضرية والصناعية.

1) تأثير شوارد الفلور في البيئة المائية:

تشكل التراكيز العالية من الفلور في المياه السطحية عامل تسمم للبيئة المائية، فسمك الشبوط يتسمم بوجود (2 – 8 مغ / لتر) من الفلور في الوسط المائي، بينما السمك الأحمر يتحمل تركيزا قدره (120 مغ / لتر) لمدة أربعة أيام {45،20}. يصطلح عادة على أن المياه الحاوية على نسبة أقل من (2 مغ / لتر) من الفلور غير ملوثة بالفلور.

2) مضار شوارد الفلور على الإنسان:

تعدّ مركبات الفلور مواد سامة بالنسبة للإنسان، وتظهر أعراض التسمم عند أخذ جرعة قدرها 250 إلى 450 مليغرام من مركبات الفلور، وتصبح الجرعة قاتلة إذا وصلت إلى 3 غرام.

يظهر الفعل السام ضمن أشكال مختلفة، فشوارد الفلور قادرة على ترسيب الكالسيوم وتثبيط شوارد الحديدي والمنغنيز نتيجة تكوين معقدات بين تلك الشوارد وشوارد الفلور. كما أنها تؤثر في بعض النظم الإنزيمية وتثبطها.

يظهر الضرر الدائم للفلور على الإنسان بوضوح في أسنانه وعظامه (4 – 10 مغ / لتر من الفلور)، حيث تتكون على الأسنان التي مازالت في طور التكوين طبقة ضعيفة لونها أصفر أو أسود، أما في حالة التراكيز التي تفوق 10 مغ / لتر من الفلور، فإن تأثيرها يصبح أكثر ضررا". ولكن وجود التراكيز الخفية من شوارد الفلور في مياه الشرب يكون مفيدا" للإنسان، حيث إنها تساعد على مكافحة التسوس، مما دعا بعض الدول إلى إضافة مركبات الفلور إلى مياه الشرب. حددت منظمة الصحة العالمية (OMS) نسبة الفلور في مياه الشرب بمقدار (0.7– 1.5 مغ / لتر).

3. 3 الشوارد الموجبة في الوسط المائي ودورها في التلوث:

3. 3. 1 شوارد الأمونيوم (NH_4^+):

تمثل شوارد الأمونيوم إحدى المراحل الأساسية ضمن دورة الآزوت. ويوجد لشوارد الأمونيوم في المياه السطحية مصادر عديدة نذكر أهمها:

- تحتوي مياه الأمطار والثلوج نسبة من الأمونيوم تتراوح بين 0.1 و 0.2 مغ / لتر.
- أمكن الكشف عن شوارد الأمونيوم في المياه الجوفية، وقد يعود ذلك إلى إرجاع النترات بفعل البكتريا الذاتية التغذية (Autotrophes)، أو بوساطة الرمال الحاوية على شوارد الحديدي القادرة على إرجاع شوارد النترات.
- تعدّ البقايا النباتية والحيوانية في التربة مصدرا" أساسيا" للأمونيوم، عن طريق تفكيك البروتينات والمركبات العضوية الآزوتية الأخرى المكونة لتلك البقايا. وينتقل قسم ضئيل من الأمونيوم المتكون إلى مياه الأنهار، بينما يحدث امتصاص القسم الأعظم من قبل التربة ذاتها.
- يعدّ وجود الأمونيوم بكميات كبيرة في المياه السطحية دليلا" على التلوث الناتج عن مياه الصرف المطروحة في المجرى المائي.

تكون المياه السطحية عادة معتدلة أو خفيفة القاعدية ($pH = 6.5 - 8.5$)، وضمن هذه الشروط يكون الأمونيوم في صيغته الشاردية (NH_4^+) الضعيفة السمية، بينما يكون في المياه القاعدية في صيغته غير المتشردة (ماءات الأمونيوم NH_4OH) الشديدة السمية.
ترتبط سمية آزوت الأمونيا في الوسط المائي بالحالة الكيميائية له، يقلل من تلك السمية ارتفاع نسبة ثنائي أكسيد الكربون والأكسجين في الماء ولاسيما تجاه الأسماك. إن تلك الظواهر مرتبطة معا"، حيث نعلم أن كمية ثنائي أكسيد الكربون المنطلقة من غلاصم الأسماك متناسبة مع كمية الأكسجين المنحلة في الماء، وبالتالي فإن وجود ضغط جزئي منخفض من الأكسجين في الوسط المائي يؤدي إلى إعطاء ضغط جزئي ضعيف أيضا من ثنائي أكسيد الكربون، وبالتالي ارتفاع نسبي في قيمة دليل الهيدروجين للمياه الملامسة لغلاصم الأسماك، مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة ماءات الأمونيوم غير المتشردة وينتج عنها ارتفاع سمية آزوت الأمونيا . لقد أكدت بعض الأبحاث أن تركيزا" قدره (10مغ/لتر) من آزوت الأمونيا في المياه السطحية يخفض من تفاعل الأكسدة لخضاب الدم (Hémoglobine) عند بعض الأنواع من الأسماك مما يسبب اختناقها.
أما بالنسبة إلى مياه الشرب فيفضل عدم وجود الأمونيا، وتحدد المعايير السورية التركيز الأعظمي المسموح به في مياه الشرب بمقدار 0.05 مغ / لتر من آزوت الأمونيا، وأي زيادة عن هذه القيمة تكون ضارة على الصحة.

3. 3. 2 شوارد الصوديوم Na^+:

يكوّن الصوديوم 2.83% من تركيب القشرة الأرضية، ويتمتع بدرجة انحلال مرتفعة في الماء، ولهذا فهو شائع في جميع أنواع المياه السطحية والجوفية، يضاف إلى ذلك احتواء مياه الصرف الحضرية والصناعية كمية كبيرة من أملاح الصوديوم.
يؤدي التركيز المرتفع من شوارد الصوديوم في مياه الشرب إلى ظهور حالات إسهال عند الإنسان، كما ويحظر على مرضى القلب والكلى شرب المياه الغنية بالصوديوم. يعدّ الماء الحاوي على تركيز أقل من (115 مغ / لتر) من الصوديوم صالحا" للشرب، علما أنه من الأفضل ألا يتجاوز تركيزه (10 مغ / لتر) .
يشكل الصوديوم عنصرا مهما" وضروريا" لنمو النباتات، غير أن ارتفاع نسبته في مياه الري يؤدي إلى نقصان في نفوذية التربة وارتفاع كبير في قيمة دليلها الهيدروجيني.

3. 3. 3 شوارد البوتاسيوم K^+:

يتوافر البوتاسيوم في جميع أنواع المياه الطبيعية، لكونه يدخل في تركيب القشرة الأرضية(2.59%) ومركباته سهلة الانحلال في الماء. غير أن نسبته في المياه السطحية أقل من الصوديوم، ويعود ذلك إلى امتزاز التربة له على نحو جيد.

يكوّن البوتاسيوم (0.2%) من وزن جسم الإنسان، وتعدَ شاردة البوتاسيوم (K^+) مهمة جدا" لفعالية الخلايا العصبية. كما أنها تؤدي دورا" في التوازن التناضحي بين الخلايا والسائل المحيط بها، بحيث تكون الموزع الوسيط في جميع الأجسام الحيوانية (ولكن ليس ضمن الخلايا النباتية) من خلال اللواقط المشتركة لشوارد الصوديوم والبوتاسيوم (Na^+ / K^+)، وهي تؤدي دورا" أساسيا" في التوازن الكهربائي ضمن السائل الخلوي، حيث يكون تركيزها حوالي 150 ميلي مكافئ غرامي في اللتر ضمن السائل الخلوي، ولكن عندما تعاني الكلية من أعراض مرضية، فقد يكون تراكم البوتاسيوم هو السبب في تعطل عمل الكلية مما يؤدي إلى عدم انتظام دقات القلب. كما هو الحال بالنسبة للفُسفور والآزوت فإن البوتاسيوم يعد عنصرا" أساسيا" للنباتات، علما" أن دوره الأساسي في النباتات هو حفظ الضغط التناضحي، ويؤثر نقص البوتاسيوم في نمو النبات.

3. 3. 4 شوارد الكالسيوم Ca^{++}:

تحوي المياه الطبيعية شوارد الكالسيوم بنسب مختلفة تبعا" للطبيعة الجيولوجية للمجرى المائي. وتنتج تلك الشوارد عن التفاعل بين ثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء والصخور الكلسية، أو نتيجة الانحلال المباشر لكبريتات الكالسيوم (الجبس). يوجد الكالسيوم في المياه الطبيعية في صيغة كربونات الكالسيوم الحمضية المنحلة مع وجود نسب صغيرة من الأملاح الأخرى للكالسيوم (كربونات، كبريتات،...،... .).

تختلف نسبة الكالسيوم في مياه الأنهار باختلاف الصخور المكوّنة لمجراها، وتتراوح عموما" بين 2 إلى 8 مغ / لتر، علما" أنها تصل في المناطق الكلسية إلى 120 مغ / لتر أحيانا".

1. تأثير الكالسيوم على البيئة المائية:

هناك علاقة وثيقة بين التكاثر في الوسط المائي ونسبة الكالسيوم ضمنه، فقد وجد أن الماء الحاوي على (25 مغ / لتر) من شوارد الكالسيوم يوافق أفضل حالات التكاثر في البيئة المائية. بينما يؤدي تركيز أقل من (2 مغ / لتر) إلى تكاثر أخفض بثلاث مرات من الحالة السابقة.

اقترح العالم ويل (**Huel**) التصنيف الآتي للمياه بدلالة تركيز الكالسيوم:

- المياه الفقيرة جدا" تحتوي 2 مغ / لتر من شوارد الكالسيوم.

- المياه الفقيرة تحتوي 2 – 6 مغ / لتر من شوارد الكالسيوم.
- المياه المتوسطة تحوي 6 – 30 مغ / لتر من شوارد الكالسيوم.
- المياه الغنية تحوي 30 – 70 مغ / لتر من شوارد الكالسيوم.

تعدّ المياه الحاوية على تركيز أعلى من 70 مغ / لتر أو أقل من 5 مغ / لتر من شوارد الكالسيوم غير جيدة لنمو النباتات والحيوانات في الوسط المائي.

2. مضار الكالسيوم وفوائده في مياه الشرب:

الكالسيوم مادة ضرورية للإنسان، حتى إن بعض الدراسات الإحصائية أوضحت أن أمراض أوعية القلب تنتشر في المناطق التي تستعمل فيها المياه الخفيفة (المياه الفقيرة بالكالسيوم). غير أن للمياه القاسية المستعملة في الاستهلاك المنزلي سلبيات عديدة من أهمها الترسبات الحادثة في أجهزة التسخين وضعف فعالية المواد المنظفة. تحدد منظمة الصحة العالمية (OMS) التركيز الأفضل للكالسيوم بالقيمة 75 مغ / لتر، والقيمة 200 مغ / لتر كحد أقصى مسموح به في مياه الشرب.

3. 3. 5 شوارد المغنزيوم Mg^{++}:

تحتوي جميع أنواع المياه السطحية على المغنزيوم الناتج عن انحلال الصخور المكونة لحوض ومجرى المياه، غير أن تركيزه أقل من تركيز الكالسيوم دوما. ويشابه المغنزيوم الكالسيوم في تأثيراته على البيئة المائية و مياه الشرب.

3. 3. 6 شوارد الرصاص Pb^{++}:

تنحل أملاح الرصاص الموجودة ضمن التربة في أثناء مرور المياه خلالها، ويشكل هذا الفعل المصدر الطبيعي للرصاص في المياه السطحية إضافة إلى وجوده على صيغة معقدات مع مركبات الدبال المنحلة في المياه السطحية. ويصل تركيز الرصاص القادم من المصادر الطبيعية في المياه السطحية إلى (0.6 مغ / لتر) أحيانا". غير أن المصدر الأساسي للرصاص في المياه السطحية ناتج عن مياه الصرف الصناعية، وكذلك عن عوادم السيارات إما بانتقاله مباشرة مع الهواء الجوي وانحلاله في المياه السطحية، أو ترسبه على التربة ثم انتقاله مع مياه السيول أو الفيضانات. إن أهم الصناعات الطارحة لمركبات الرصاص في الهواء أو في الوسط المائي هي: صناعة الرصاص، وصناعة المتفجرات، وصناعة الأصبغة، وصناعة البطاريات الكهربائية، التي تستهلك وحدها نحو ثلث الإنتاج العالمي من الرصاص وصناعة رباعي إتيل الرصاص ($Pb(C_2H_5)_4$) الذي كان يستعمل بشكل واسع مع البنزين من أجل رفع رقم الأوكتان

في محركات السيارات، ولكن دوره في التلوث حجّم من استعماله عالميا". وتقدر كمية الرصاص التي تطرحها المصانع سنويا في البحار بأكثر من 250 ألف طن.

1. تأثير الرصاص في البيئة المائية:

تظهر سمية الرصاص على الأحياء الدقيقة المائية ابتداء من تركيز قدره (0.1 مغ / لتر) رصاص في المياه السطحية، حيث يؤدي إلى تثبيط عملية التحلل الحيوي للمركبات العضوية المنحلة في المياه السطحية نتيجة تثبيط البكتريا الهوائية الفاعلة في التحلل الحيوي. كما أن وجود الرصاص بنسبة عالية يؤدي إلى اختناق الأسماك نتيجة تأثيره على غلاصمها، وتتناقص تلك السمية بازدياد تركيز المركبات الكلسية في الوسط المائي.

2. مضار الرصاص الموجود في مياه الشرب:

إن الرصاص مادة سامة بالنسبة للإنسان، ولاسيما نتيجة الفعل التراكمي للرصاص في جسم الإنسان حتى الوصول إلى حالة التسمم المميت. فاستهلاك الإنسان1 مليغرام يوميا" من الرصاص فترة طويلة يحدث ضررا" كبيرا" على الصحة ويؤدي في لحظة معينة إلى الموت المفاجئ.

إن أهم المظاهر المرضية الناتجة عن الرصاص هي:

- قلة نسبة الهيموغلوبين في الدم وحدوث الفاقة الدموية (أنيميا).
- تخريب في كريات الدم الحمراء.
- ظهور خط أزرق مسود داخل نسيج اللثة.
- الإصابة بمغص معوي يسبقه حالة تقيء قد تؤدي إلى اضطرابات عصبية وبالتالي إلى شلل الأطراف.
- يمكن أن يسبب تشنجات عصبية شاملة تؤدي إلى مرض الصرع.

تؤكد بعض الدراسات الحيوية على أن الرصاص يؤدى إلى انخفاض في مستوى الذكاء والقدرة على الإدراك، وأنه يتراكم مع مرور الزمن في بعض أجزاء الجسم مثل خلايا المخ والكلى والصدر. ويعتقد أن له دورا كبيرا في الإصابة بالأمراض السرطانية.

إن التركيز الأعظمي المسموح به في مياه الشرب هو أقل من (0.01 مغ / لتر).

3. 3. 7 الحديد والمنغنيز في المياه السطحية :

ينتج الحديد المنحل في المياه السطحية عن انحلال المركبات الحديدية الموجودة في التربة، يضاف لهذا المصدر الطبيعي مصادر أخرى ناتجة عن النشاط البشري (مياه الصرف الحضرية والصناعية)، وتوجد شوارد الحديد والمنغنيز في المياه الطبيعية الجوفية

والسطحية، وتكون ثنائية التكافؤ، وتركيزها محدد بانحلالية كل من كربونات الحديدي ($FeCO_3$) وكربونات المنغنيز ($MnCO_3$)، إذا" فإن المياه ضعيفة القلوية (TAC) تحتوي عادة كمية أكبر من المنغنيز والحديد من المياه شديدة القلوية. ونورد فيما يلي علاقة شوارد الحديدي المنحلة بدلالة القلوية:

$$FeCO_3 \rightleftarrows Fe^{++} + CO_3^{--}$$

ويكون قيمة ثابت التشرد مساويا":

$$K_{FeCO3} = [Fe^{++}][CO_3^{--}]$$

ويتشرد حمض الكربون في الماء وفق المعادلة الآتية:

$$HCO_3^- \rightleftarrows H^+ + CO_3^{--}$$

وقيمة ثابت التوازن:

$$K_2 = \frac{[H^+][CO_3^{--}]}{[HCO_3^-]}$$

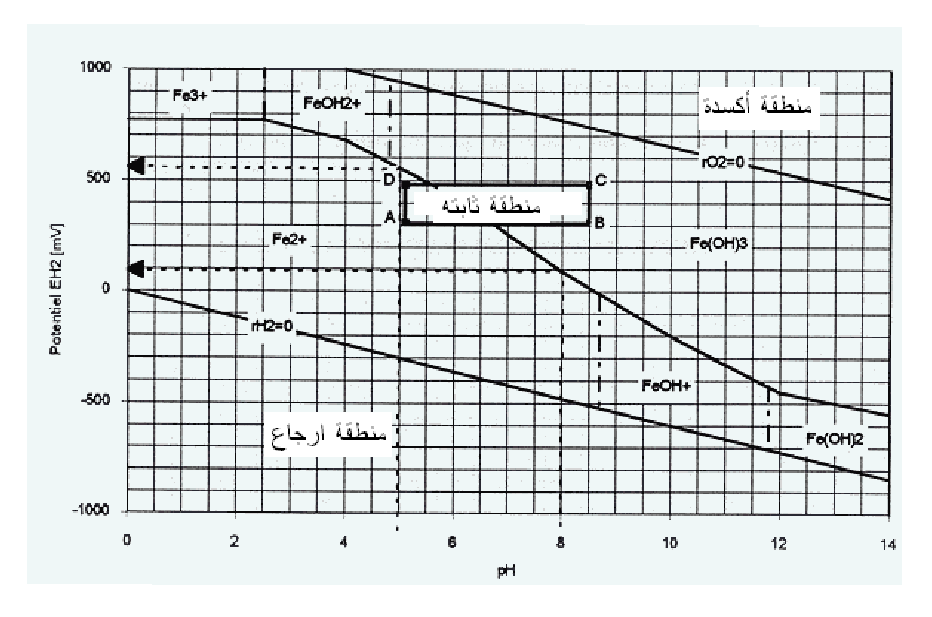
ومن العلاقتين السابقتين نستنتج أن قيمة تركيز شوارد الحديدي كما يلي:

$$[Fe^{++}] = \frac{K_{FeCO_3}}{K_2} \frac{[H^+]}{[HCO_3^-]} = K \frac{[H^+]}{[HCO_3^-]}$$

إذا" من أجل (pH) ثابت يتناسب تركيز شوارد الحديدي عكسا مع القلوية (TAC). وينطبق ذلك على شوارد المنغنيز أيضا".

ينتشر الحديد والمنغنيز المنحلان في المياه الطبيعية (أملاح منحلة) بحالة الأكسدة الثنائية ($MnOH^+$, Mn^{++}, Fe^{++} , $FeOH^+$) أو بحالة التكافؤ الثلاثية للحديد إذا كان الوسط معتدلا" ($Fe(OH)_2^+$, $Fe(OH)_4^-$) . وتكوين معقدات معدنية أو عضوية في الماء يرفع نسبة كل من الحديد والمنغنيز المنحل.

معظم المياه السطحية في حالة توازن مع الهواء الجوي ويتراوح قيمة (pH) الوسط بين 5 .5 و 8.5 وكمون الأكسدة والإرجاع يتراوح بين 0.3 و 0.5 فولت. وهذه العوامل مهمة جدا" في تحديد المنطقة الثابتة (ABCD) الظاهرة على المنحني البياني (الشكل 3 – 2).



الشكل 3 – 2: كمون الأكسدة والإرجاع بدلالة pH الوسط {72}.

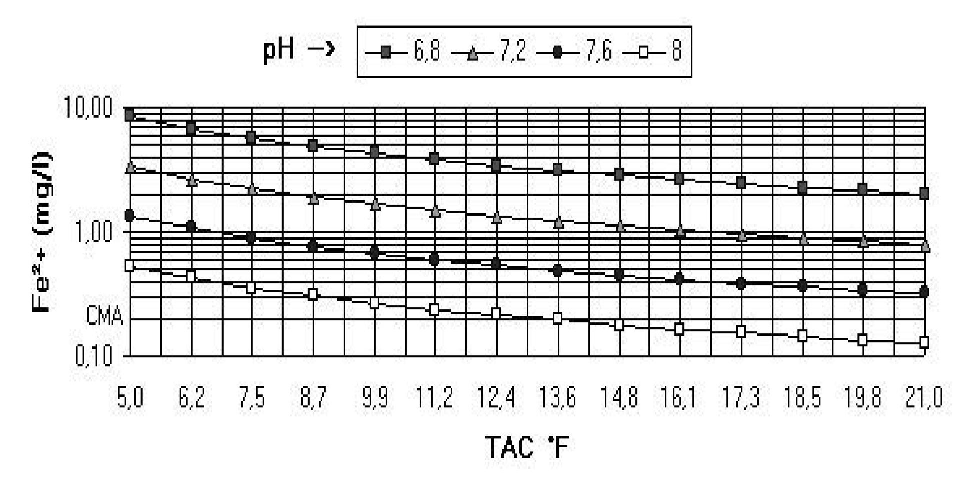
إن المربع (ABCD) يمثل حقل الثباتية للشوارد في الوسط المائي الطبيعي في مجال من (pH) يتراوح بين 5.1 و 8.5 وهي عموما" محلولة وعلى شكل شوارد الحديدي (Fe^{++})، أما غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء السطحي فإنه يتفاعل مع كربونات الحديدي مكونا" كربونات الحديدي الحمضية المنحلة:

$$FeCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Fe(HCO_3)_2$$

يمكن ملاحظة أن معظم السطح (الشكل 3 – 2) يقع في منطقة هيدروكسيد الحديد [$Fe(OH)_3$] بينما جزء صغير جدا" يقع في منطقة شوارد الحديد المنحلة وهذا يفسر عدم وجود كمية مهمة من الحديد المنحل ضمن المياه السطحية المهواة جيدا"، ومن ناحية أخرى فإن وضع مياه غير مؤكسجه جيدا"(مياه جوفية) بتماس مع الهواء الجوي يؤدي إلى رفع كمون الأكسدة، مما يزيد سرعة ترسب هيدروكسيد الحديد.

1 – وجود الحديد ضمن معقدات في الوسط المائي :

● **كربونات:** السبب الأساسي لانحلال الحديد في المياه العميقة هو حدوث عملية التخمر للتربة، ويكون الحديد المنحل في صيغة الكربونات الحمضية للحديد، وتتعلق الانحلالية بتوازنات كيميائية عديدة وخاصة توازن كربونات الحديدي ($FeCO_3$). من أجل (pH) محدد فإن الانحلالية تتناسب عكسا" مع القلوية، ويعطي الشكل(3 – 3) معدل وجود شوارد الحديدي المنحلة بدلالة القلوية (TAC) من أجل قيم (pH) مختلفة في الوسط المائي.



الشكل 3 – 3: الانحلالية العظمى لشوارد (Fe^{+2}) في الوسط المائي بدلالة (TAC) ومن أجل قيم مختلفة من pH {72}.

وفي وسط معتدل أو قريب منه، تكون انحلالية كربونات الحديدي الحمضية بحدود (1.3 مغ / لتر) من أجل واحد درجة فرنسية من (TAC). وفي معظم الحالات فإن الكربونات الحمضية هي التي تتحكم في عملية انحلال الحديد، ولذلك فإن زيادة قلوية الوسط، خلال عملية المعالجة للماء، تخفف من الانحلالية لهذا المعدن المرتبط بشوارد الكربونات الحمضية. في حالة كون قيمة (TAC) معدومة وغياب كبريت الهيدروجين والأكسجين، فإن انحلالية شوارد الحديدي بتأثير (pH) تصبح محدودة جدا" نتيجة تشكل هيدروكسيد الحديدي.

- **سيليكات و فوسفات:**

يشكل الحديد مع شوارد السيليكات وشوارد الفوسفات معقدات يمكنها أن تعيق التخلص من الحديد في محطات معالجة المياه.

- **مواد عضوية:**

ظاهرة تكوين المعقدات مع المواد العضوية تظهر في المياه السطحية الغنية بالمركبات العضوية الطبيعية (مياه الأنهار والبحيرات) حيث توجد حموض الدبال وحموض الفولفيك والتانيك وغيرها. إن الشوارد المعدنية في الماء ترجع من قبل تلك المركبات وتشكل معها معقدات شاردية، لذلك فإن نسبة مرتفعة من الحديد تبقى في الماء حتى لو تم أكسدتها، ولا يمكن التخلص منها إلا بالتخلص من المركبات العضوية.

2 – تأثير الحديد والمنغنيز في البيئة:

يختلف تأثير الحديد في الأسماك في الوسط المائي باختلاف حالة الحديد الكيميائية (ثنائي أو ثلاثي التكافؤ) وبالتالي اختلاف pH الوسط، ففي الوسط القلوي يتكون هيدروكسيد الحديد

ويرسب على غلاصم الأسماك، بينما في الوسط الحمضي يكون الحديد في صيغته الثنائية (Fe^{++}) ذات السمية المتوسطة للحياة المائية. يعدَ الحديد عنصر ضروري لبناء جسم الإنسان، وبالتالي يجب استهلاك 1 إلى 2 مليغرام منه يوميا"على الأقل، ولكن وجوده في مياه الشرب بنسبة عالية يسبب أضرارا" صحية مختلفة.

أما المنغنيز فيعدّ مادة سامة للأسماك في حالة وجوده بنسب مرتفعة، بينما التراكيز الخفيفة لاتحمل أي ضرر أو خطورة على البيئة المائية. تتعرض الأسماك للتسمم إذا وجدت في مياه تحوي (1.2 غ / لتر) من كلور المنغنيز أو (2.4 غ / لتر) من كبريتات المنغنيز {20}. أما البرمنغنات فإنها تتمتع بسمية عالية جدا"، حيث يكفي (2. 2 – 4.1 مغ / لتر) منها في المياه للقضاء على الأسماك الموجودة، ولكن لحسن الحظ فإن البرمنغنات غير ثابتة في الوسط المائي لكونها مادة مؤكسدة قوية تتفاعل مع المركبات المعدنية القابلة للأكسدة وكذلك مع المركبات العضوية.

3. 4 المواد الضارة المحمولة في مياه الصرف الصناعية:

3. 4. 1 السيانيد:

المياه الطبيعية خالية من السيانيد ووجوده في المياه السطحية ناتج عن مياه الصرف الصناعية، ومن أهم الصناعات التي تطرح السيانيد صناعة الكلفنة (Galvanisation) وصناعة الغاز والبتروكيمياء وغيرها. تكون المركبات السيانيدية ضمن مركبات بسيطة صيغتها [A(CN)x] حيث تمثل A معدن قلوي (صوديوم، بوتاسيوم) أو شاردة الأمونيوم، أو ضمن مركبات معقدة صيغتها [Ay M (CN)x]، حيث تمثل A المعدن القلوي و M المعدن الثقيل (الحديد، الحديدي، الكادميوم،.....، .).

يتشرد حمض السيانيد في الماء معطيا" شوارد السيانيد وفقا" للمعادلة:

$$\mathbf{HCN \leftrightarrow H^{+} + CN^{-}}$$

ولذلك فإن صيغة السيانيد في الماء متعلقة بقيمة (pH) الوسط (من أجل pH = 9) تكون كمية (CN^{-}) مساوية إلى 47% من الكمية الكلية لحمض السيانيد. ونظرا" إلى كون المياه السطحية معتدلة أو قاعدية ضعيفة فإن نسبة الحمض المتشردة تكون قليلة. يعبر عادة عن سمية السيانيد بتركيز شاردة السيانيد، علما" أن السيانيد غير المتشرد أكثر سمية من شوارده، وتتعلق سمية السيانيد بعدة عوامل هي:

- pH الوسط.

- كمية الأكسجين المنحلة في الماء.
- درجة الحرارة.
- نسبة التمعدن في الماء.

حيث تزداد السمية بارتفاع درجة الحرارة وبانخفاض كمية الأكسجين المنحل وبتناقص قيمة (pH) الوسط.

يموت سمك الشبوط في الماء الحاوي على (0.05 مغ / لتر) من شاردة السيانيد (CN^-) خلال خمسة أيام، أما إذا كان تركيز شوارد السيانيد (1 مغ / لتر) فإن الأسماك تموت خلال 20 دقيقة {20}. أما مياه الشرب فيفضل عدم احتوائها نهائيا على السيانيد، علما أن منظمة الصحة العالمية حددت الحد الأعظمي للسيانيد المسموح به في مياه الشرب بالقيمة (0.07 مغ / لتر).

3. 4. 2 الكروم:

يظهر الكروم في المياه السطحية نتيجة تلقيها مياه الفياضانات وغسيل الشوارع (50%) و مياه الصرف الصناعية (35%) والنفايات السائلة المنزلية (15%)، وتختلف صيغ الكروم في المياه باختلاف مصدرها، فهناك شاردة الكروم البسيطة (Cr^{+3}) وشوارده المعقدة (CrO_3^{-3} , CrO_2^{-1} , CrO_4^{-2} , $Cr_2O_7^{-2}$).

أكدت العديد من الدراسات أن الكروم الثلاثي التكافؤ يزيد من حساسية النسج للأنسولين، وهذا يقود إلى استقرار في معدل السكر بالدم، وله دورٌ إيجابيٌّ في عملية التركيب الغذائي في الخلايا الحية، حيث ينشط عمل بعض الإنزيمات، بينما يعدّ الكروم السداسي التكافؤ ساما"، ويحدث أضرارا" في الدم، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى الإصابة بالسرطان. وأكدت التجارب التي أجريت على الحيوانات أن تركيزا" أعلى من 50 مكروغرام/ غرام من الكروم في غذائها أدى إلى تناقص في النمو وأضرار في الكبد. بصورة عامة، فإن سمية الكروم مازالت موضع جدل، وهناك آراء مختلفة في ذلك، والكروم الثلاثي أكثر سمية من السداسي على بعض الأنواع من الحيوانات المائية {20, 43}. حددت منظمة الصحة العالمية النسبة العظمى للكروم السداسي في مياه الشرب بالقيمة (0.05 مغ / لتر).

3. 4. 3 النحاس:

لايكون النحاس طبيعيا" في المياه السطحية إلا بنسبة ضئيلة جدا" وهي أقل من (0.05 مغ / لتر)، ولكن مياه الصرف الصناعية تحمل كميات كبيرة من أملاح النحاس والقادمة من العديد من الصناعات، ولاسيما صناعات التعدين والصناعات الكهربائية والنسيجية وغيرها. معدن

النحاس غير قابل الانحلال بالماء، بينما بعض أملاحه مثل كلور ونترات وكبريتات النحاس شديدة الانحلال في الماء، أما الكربونات وهيدروكسيدات النحاس فهي ضعيفة الانحلال مما يؤدي إلى ترسبها في الوسط المائي المعتدل.

- تأثير النحاس في البيئة المائية:

تتعلق سمية النحاس بالعناصر الأخرى الموجودة في الوسط المائي، وبصفات ذلك الوسط ولاسيما درجة الحرارة وتركيز الأكسجين المنحل ودرجة القساوة ونوعية الأملاح الأخرى المنحلة. يترسب النحاس في المياه القاسية على شكل كربونات النحاس، وبذلك فإن سميته تنعدم في المياه القاسية جدا". كما لوحظ أن وجود الكلور الحر والزنك والكادميوم والزئبق يزيد من سمية النحاس، بينما وجود نترات أو نتريت الصوديوم ينقص منها.

أوضحت التجارب أن تركيزا" من النحاس في صيغته الشاردية في المياه السطحية محصوراً بين (0.015– 3.0 مغ / لتر) يسبب حالة تسمم للعديد من الأسماك والرخويات والقشريات والحشرات، خاصة إذا كانت تلك المياه خفيفة (ضعيفة القساوة). ويتميز النحاس بدور سلبي في عملية التنقية الذاتية للمياه السطحية بتثبيطه لفعل البكتريا القائمة بتلك العملية. أما تأثير النحاس في الطحالب (Algues) فيختلف تبعاً لنوع تلك الطحالب، فهو مفيد لبعضها وسام لبعضها الآخر.

3. 4. 4 الزنك:

يشبه الزنك النحاس من حيث وجوده في المياه السطحية ومصادره وأملاحه المنحلة، أما فعله السمي فيعتبر أشد من النحاس، علما" أن ظهور حالة التسمم تتأخر عدة أيام بعد حدوثها. تتناقص السمية بزيادة قساوة الماء، وقد أوضحت بعض الدراسات التي أجريت على نوعين من الأسماك أنها تموت بفعل الأثر السام للزنك في حالة كون تركيز الزنك المنحل بحدود (0.3 مغ / لتر) والمترافق مع تركيز الكالسيوم (1 مغ / لتر)، بينما يلزم (2 مغ / لتر) من الزنك لإحداث الفعل السمي نفسه على النوع نفسه من الأسماك إذا كان تركيز الكالسيوم في الماء بحدود (50 مغ / لتر)، مما يوضح التأثير المثبط لشوارد الكالسيوم في الفعالية السمية للزنك.

يعدَ وجود نسبة خفيفة من الزنك أقل من (1 مغ / لتر) عاملا" منشطا" لبكتريا النترجة، بينما التراكيز العالية منه (10 مغ / لتر) تؤدي إلى تثبيط العمليات البكترية للنترجة. أما القشريات فإنها تتسمم في المياه الحاوية على نسبة أعلى من (1.8 مغ / لتر) من الزنك {20, 61}. إن الزنك مفيد للنباتات، غير أن وجوده بتركيز أعلى من (5 مغ / لتر) في مياه الري يؤدي إلى تحطيم الجهاز اليخضوري للنباتات. ولكن ليس هناك دراسات واضحة تؤكد حدود سمية الزنك

في مياه الشرب، غير أن طعمه السيء دعا منظمة الصحة العالمية (OMS) إلى تحديد نسبته في مياه الشرب بمقدار (5 مغ / لتر) كحد أعظمي.

3. 4. 5 الزرنيخ:

إن وجود الزرنيخ في المياه الجوفية يعود إلى البنية الجيولوجية للحوض المائي، حيث يوجد في بنية الصخور في صيغة كبريت الزرنيخ ($FeAsS$, As_2S_2 , As_2S_3)، ويكون في الماء في صيغته الثلاثية والخماسية ($HAsO_3$, H_3AsO_3) والتكافؤ الثلاثي أكثر سمية وأكثر قدرة على الحركة.

ويطرح العديد من الصناعات الزرنيخ ضمن المخلفات المائية، إضافة إلى انطلاقه من مداخن بعض الصناعات في صيغة ثلاثي أكسيد الزرنيخ.

يختلف التركيز المميت للأسماك باختلاف نوعها ويتراوح بين (2.2– 60 مغ / لتر) من الزرنيخ. أما تأثير الزرنيخ على البكتريا المسؤولة عن عملية التنقية الذاتية للمجرى المائي فإنه يظهر عند التراكيز الأعلى من (4 مغ / لتر). ورغم أن الزرنيخ يعدَ غذاء" أساسيا" للنباتات ويدخل في تركيبها، فإن مياه الري الحاوية على تركيز أعلى من (2 مغ / لتر) من الزرنيخ تسبب ظهور خلل واضح في النظام النباتي.

من المعروف أن الزرنيخ مادة سامة للإنسان، حيث إن جرعة قدرها 100 مليغرام تحدث حالة تسمم خطيرة وجرعة قدرها 130 مليغرام كافية لقتل الإنسان فورا". علما" أن سرعة تخلص الجسم منه بطيئة جدا"، ولذلك فإن تناوله على دفعات متتالية يؤدي إلى التسمم، حتى لو كانت تلك الدفعات خفيفة التركيز. إن الزرنيخ يؤثر في الجهاز الهضمي والكبد والكليتين والقلب والجملة العصبية، حتى إن تأثيره يمتد إلى الجلد، كما ويسبب بعض أمراض السرطان. والتركيز الأعظمي المسموح به في مياه الشرب هو(10 ميكروغرام / لتر) من الزرنيخ.

3. 4. 6 الكادميوم:

الكادميوم هو أحد العناصر الصغرى في تغذية النباتات عندما يكون تركيزه منخفضاً، إلا أنه يصبح ساماً للنباتات والأحياء المائية عندما يزداد تركيزه على المستوى العادي ولو قليلاً. ويكون عنصر الكادميوم طبيعياً كأحد مكونات المعادن التي في القشرة الأرضية بمتوسط تركيز يبلغ نحو 0.18 جزءا" في المليون. أما نسبة الكادميوم في التربة فتتراوح عادة بين (0.01 – 1.8 جزء في المليون)، وفي المياه الطبيعية يحدث أن يصل تركيزه إلى أقل من 0.1 ميكروغرام في اللتر الواحد، إلا أنه في البيئات المتأثرة بالنشاطات البشرية، قد يصل تركيز الكادميوم في المياه الطبيعية إلى عدة ميكروغرامات في اللتر الواحد. وتتمثل المصادرالرئيسية لعنصر الكادميوم بفعل

النشاط البشري في مصانع تنقية الزنك، وعمليات حرق الفحم الحجري، ونفايات التعدين، ومصانع الحديد والصلب، ومصانع الأصباغ، والمفاعلات النووية، والمخصبات الزراعية والمبيدات الحشرية. وتتلقى مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار كميات كبيرة من عنصر الكادميوم تقدر بأكثر من 1000 طن سنويا".

ويعتمد تأثير عنصر الكادميوم في الأحياء المائية على الصيغة التي يوجد بها الكادميوم التي يتصف كل منها بسمية مختلفة، ومعاملات تراكم في الأحياء. ففي المياه العذبة ذات المحتوى الجيد من الأكسجين، والمحتوى القليل من الكربون العضوي، يكون الكادميوم على صيغة شاردة الكادميوم ثنائية الشحنة. أما في المياه المالحة التي يزيد فيها تركيز الأملاح على 35 غرام لكل كيلوغرام من الماء فإن معقدات كلوريد الكادميوم تكون هي السائدة. ويعتمد تأثير عنصر الكادميوم في الأحياء المائية على نوعية الماء ولاسيما قساوة الماء التي تعتمد على تركيز شوارد كل من الكالسيوم Ca^{2+} والمغنزيوم Mg^{2+}. فكلما ازدادت قساوة الماء قلّ تأثير التركيز الكلي للكادميوم في الأحياء المائية. لذلك، فالأحياء الموجودة في المياه العذبة تتأثر بعنصر الكادميوم عند مستويات أقل من تركيز الكادميوم في المياه المالحة. ويرتبط تركيز الكادميوم الذي يبدأ عنده تأثير السمية بفصيلة الكائن الحي وحجمه وعمره، وبمدة التعرض لهذا التركيز المعين من عنصر الكادميوم في المياه الطبيعية. لذلك نجد أن الأنواع المختلفة من الأحياء تتباين درجة تحملها لسمية الكادميوم الحادة في المياه العذبة عنها في المياه المالحة، وكذلك تختلف عن سمية الكادميوم المزمنة. لوحظ الفعل السمي للكادميوم على الأسماك في المياه السطحية الحاوية على كمية من الكاديوم تتراوح بين (0.01 – 1 مغ / لتر) وأن ذلك الفعل السمي يزداد بوجود النحاس مع الكادميوم.

ويعدّ عنصر الكادميوم من المعادن الثقيلة العالية السمية والتي تتراكم في أجسام الكائنات الحية عبر السلسلة الغذائية. وإن خلل العظام وتغير تركيبة الدم وفقر الدم من أبرز أعراض التسمم بعنصر الكادميوم. وكذلك مرض إيتاي–إيتاي الذي ظهر في منطقة باليابان، من أبرز الحوادث المأساوية لتلوث المياه بعنصر الكادميوم، الذي انتقل إلى الناس عبر الأرز المروي بمياه ملوثة بالكادميوم، وقد توفي عدد كبير نتيجة تراكمه داخل الجسم. تكفي جرعة قدرها 0.4 غرام لقتل الإنسان، ولذلك يحدد التركيز الأعظمي للكادميوم في مياه الشرب بمقدار (0.01 مغ / لتر).

3. 4. 7 الزئبق:

يحتوي بعض مياه الصرف الصناعية الزئبق، إضافة إلى دخوله في مكونات بعض المبيدات، وبالتالي تلويثه للمياه السطحية عبر انتقاله مباشرة من الهواء الجوي، أو بوساطة مياه السيول الجارفة للتربة الماصة للمبيدات. ويكون الزئبق أيضا ضمن مركب الصودا الكاوية التجارية بنسبة 2 مغ في الكيلوغرام الواحد، علما" أنها تستعمل على نطاق واسع في الصناعة لعمليات التعديل، كما أن استعمالها كبير في محطات معالجة المياه. يستقر الزئبق المحمول ضمن المياه السطحية في طبقة الأوحال المترسبة في قاع المجرى المائي، حيث يتحول إلى ميتيل الزئبق بفعل البكتريا اللاهوائية معطيا شوارد قابلة للانحلال بالماء.

ويعد عنصر الزئبق واحدا" من أكثر العناصر الكيميائية سمية وقابلية للتراكم في أجسام الكائنات الحية. وقد زاد الإنتاج العالمي منه على عشرة آلاف طن سنويا". وقد وصل تركيز الزئبق في كثير من المياه إلى أكثر من الحد الأعلى المسموح به، وهو 0.5 جزء في المليون. ويقدر ما تلقيه الصناعات المختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية من الزئبق في المياه سنويا" بأكثر من 500 طن، وفي فرنسا يقدر بأكثر من 50 طن سنويا"، وتشير تقديرات مشروع الجرد الوطني للزئبق في سورية إلى طرح حوالي 2.5 طن سنويا" في مياه الصرف (وزارة الدولة لشؤون البيئة).

ومن الأمثلة على الحوادث المأساوية لتلوث المياه بالزئبق ما حدث في ميناء مينا ماتا اليابانية عام 1956، إذ انتشر وباء غامض أصاب الحيوانات الداجنة وعائلات الصيادين أدى إلى خلل في النطق، وسوء في الرؤية، وشلل عضلات الأيدي والأرجل، ومات منه حسب الإحصائيات الرسمية أكثر من 230 شخصا، ولحق ضرر كبير بأكثر من 1300 آخرين. كما قد لوحظ خلل وراثي عند أطفالهم. وقد تبين بعد عشر سنوات من الدراسة أن هذا المرض، الذي سمي باسم الميناء الذي حدث فيه (مينا ماتا)، ناتج عن الزئبق المتراكم في الأسماك .

يسبب الزئبق أمراضا" تدعى الأمراض الزئبقية (Hydrargyrisme) وينتج عنها حالات شلل، أو ظهور طفرات غير طبيعية تؤدي إلى حدوث تشوهات في جسم الإنسان، وتحدث عملية انتقال الزئبق من المياه السطحية إلى الإنسان عن طريق الأسماك التي تختزنه في داخلها.

3. 5 الملوثات العضوية الدقيقة (Micropolluants):

3. 5. 1 المركبات الفينولية:

تعدّ الفينولات من أهم الملوثات في مياه الصرف الصناعية، ولذلك فإنها دليل التلوث الصناعي. ومن أهم المراكز الصناعية التي تطرح المركبات الفينولية في مياه صرفها نذكر مصانع الدهانات والورق ومعاصر الزيتون والغاز والمشتقات الفينولية والبترولية.

الفينولات بصيغتها البسيطة غير موجودة في المياه الطبيعية، ولكنها تشكل البنية الأساسية لمركبات الدبال (Matieres Humiques) الناتجة عن تلك البقايا النباتية في المياه السطحية.

تتحلل الفينولات بفعل التنقية الذاتية بسرعة، علما" أن تلك السرعة تتغير بتغير المشتق الفينولي، ولذلك فإن الفينولات لا تظهر في المياه السطحية بكميات كبيرة إلا قرب مناطق تدفق مياه الصرف الصناعية.

1. تأثير الفينولات في البيئة المائية:

تختلف التأثيرات المؤذية للفينولات باختلاف طبيعة المركب الفينولي، ولكن التركيز العالي منها يؤدي إلى تخريب الغشاء الخلوي عموما". ونظرا" إلى تمتع بعض الفينولات بالفعل التعقيمي، فإن وجودها في الوسط المائي يحدث خللا" في التوازن البيئي المائي.

تتسمم الأسماك وتموت في المياه الحاوية على تركيز من الفينولات يتراوح بين (3 – 5 مغ / لتر)، وإذا كان التركيز أقل من ذلك فإنه يؤدي إلى ظهور رائحة كريهة للأسماك وتغدو غير صالحة للأكل. يوضح الجدول (3 – 3) نتائج تجريبية للتأثير السام للمركبات الفينولية في بعض الأحياء المائية.

الجدول 3 – 3: عتبة السمية مقدرة بالمليغرام في اللتر من المركب الفينولي{20, 33}.

المركب الفينولي	بارا أمينو فينول	ميتا كريزول	آورتو كريزول	هيدروكينون	فينول	ريزوسينول
الصيغة الكيميائية	C_6H_7ON	C_7H_8O	C_7H_8O	$C_6H_6O_2$	C_6H_6O	$C_6H_6O_2$
البكتريا	8 – 10	600	60	50	1000	1000
الطحالب	6	40	40	4	40	60
القشريات	0. 6	28	16	0. 6	16	0. 8

2. ضرر الفينولات على الإنسان:

يتسمم الإنسان بالفينول عن طريق اللمس أو الاستنشاق أو التذوق، ولكن حدوث حالات تسمم بالفينول عن طريق مياه الشرب نادر الحدوث لكون الفينول ذا رائحة مميزة وطعمٍ سيئٍ بتراكيز خفيفة جدا"، مما يشكل صمام أمان للمستهلك لمياه الشرب. حددت منظمة الصحة العالمية (OMS) التركيز ألأعظمي لمركبات الفينول في مياه الشرب بمقدار (0.001 مغ / لتر)، بينما تمنع الأنظمة الفرنسية للصحة وجود مركبات الفينول على الإطلاق في مياه الشرب، وتشترط أن تكون النسبة السابقة كحد أعظمي في المياه الخام لمحطات التنقية.

3. 5. 2 المواد المنظفة:

تعدّ المواد المنظفة من عوامل التلوث المهمة والمنتشرة في مياه الصرف الصناعية والحضرية على حد سواء، وتتكون المواد المنظفة من مواد عضوية دسمة تحمل وظائف نشيطة وممزوجة مع مواد أخرى تدعى مساعدات التنظيف.

ينضوي تحت اسم المنظفات الكثير من المركبات الفعالة سطحيا" والمستعملة في الصناعة أو في الاستعمالات المنزلية. يتألف جزيء المادة المنظفة من جزئين أساسيين، أولهما سلسلة كارهة للماء (هيدروفوبية) خطية أو متفرعة، بينما يتشكل الجزء الثاني من وظيفة أليفة للماء. إن هذه البنية الخاصة بالجزيئات الفعالة سطحيا" تسمح لها بتغيير الخواص الفيزيائية للسطح مؤدية إلى انخفاض التوتر السطحي للماء وتشكيل رغوة على السطح. وتحتوي المنظفات على مواد أخرى مكملة لعملية التنظيف كالعطور والمبيضات والأملاح الفوسفاتية وهذه المواد من الملوثات للمياه السطحية. وتقسم المواد المنظفة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

1. الشوارد السالبة:

تعطي مركبات هذا النوع من المنظفات عند انحلالها بالماء شاردة سالبة فعالة سطحيا" وشاردة موجبة غير فعالة (Na^+ , K^+)، ويدخل الصابون ضمن هذا النوع، فهو مكون من أملاح المواد الدسمة، كملح الباليميتيك ($C_{15}H_{31}COONa$)، أو ملح حمض الستياريك ($C_{17}H_{35}COOK$) أو ملح حمض الأوليك ($C_{17}H_{33}COONa$).

تترسب تلك الأملاح في الوسط الحمضي وبالتالي تفقد فعاليتها في ذاك الوسط، كما أن وجود بعض الشوارد الموجبة بتركيز عالٍ في الماء مثل شوارد الكالسيوم أو المغنزيوم أو الحديد الثلاثي يؤدي إلى تكوين أملاح مع الحموض الدسمة قليلة الذوبان في الماء مما يفقدها فعاليتها التنظيفية أيضا. ولقد أمكن التخلص من تلك السلبيات باستبدال الوظيفة الحمضية في الحموض الدسمة (COO^- -) بوظيفة حمضية أخرى مثل السلفونات (SO_3^- -) أو السولفات

($O. SO_3^-$ -). ونورد في الجدول (3 – 4) أسماء وصيغ بعض تلك المواد الفعالة سطحيا" ذات القيمة الصناعية الكبيرة.

الجدول 3 – 4: بعض المواد الفعالة سطحيا".

المركب	الصيغة الكيميائية
ميريستيل سلفونات الصوديوم Myristyl Sulfonates de Sodium	$CH_3 (CH_2)_{13} SO_3 Na$
دوديسيل بنزن سلفونات الصوديوم Dodecyl Benzene Sulfonate de Sodium	$C_{12}H_{25} – (C_6H_4)-SO_3 Na$
ايزوبروبيل نفتالين سلفونات الصوديوم Isopropyl Naphtalene Sulfonate de Sodium	$C_{13} H_{13} SO_3 Na$
ميريستيل سولفات الصوديوم Myristyl Sulfates de Sodium	$C_{14}H_{29} OSO_3 Na$
ديوكتيل أحادي سيلفوسيكسينات الصوديوم Dioctyl Mono Sulfosuccinate de Sodium	$C_{20}H_{37}O_4$ - $SO_3 Na$
ايزوبوتيل نفتالين سولفونات الصوديوم Iso Butyl Naphtalene Sulfonate de Sodium	$C_{14}H_{15}$ - $SO_3 Na$

إن أملاح السلفونات تذوب في الماء على نحو جيد، ونظرا" لكونها حموضا" سلفونية فهي لا تطرد من أملاحها بسهولة مما يسمح باستعمال السلفونات كمواد منظفة في المياه العسرة والأوساط الحمضية. واستعملت على نطاق واسع جدا" مركبات ألكيل البنزن السولفاتية (ABS) ذات السلسلة الهيدروكربونية المتفرعة والمتمتعة بقابلية ضعيفة للتحلل الحيوي مما جعلها تستقر في المياه السطحية وتسبب التلوث الدائم، وكانت تلك المركبات تشكل 80% – 90% من المواد المنظفة المصنعة، غير أن السنوات الأخيرة شهدت حملة عالمية لاستبدال تلك المركبات بسلاسل هيدروكربونية خطية قابلة للتحلل الحيوي. ونورد فيما يأتي صيغة مركب ذي سلسلة هيدروكربونية متفرعة (ABS) وآخر ذي سلسلة خطية (LAS) وقد حل مكان المركب الأول في تصنيع المنظفات.

CH_3 CH_3 CH_3 H_3C CH_3 CH_3 $SO_3^-Na^+$

Alkyl Benzene Sulfonate Ramifiée (ABS)

Alkyl Benzene Sulfonate Lineare (L A S)

2. الشاردية الموجبة:

تعطي هذه المركبات عند انحلالها في الماء شاردة موجبة فعالة سطحياً وشاردة سالبة غير فعالة. وينتسب إلى هذا النوع من المواد المنظفة أملاح الأسس العضوية مثل هيدروكلوريد أوكتاديسيل أمين ($C_{18}H_{37}NH_3Cl$)، وأملاح الأمونيوم التي استبدلت ذرات الهيدروجين فيها بجذور عضوية ذات الشكل العام ($R_1R_2R_3R_4NCl$)، مثل سيتيل ثلاثي ميتيل كلور الأمونيوم [$C_{16}H_{33}$ NCl $(CH_3)_3$]. تتشرد تلك المركبات في الماء معطية شاردة الكلوريد السالبة غيرالفعالة، وشاردة موجبة فعالة سطحيا". تمتز السطوح الفاصلة للمواد المراد تنظيفها الشوارد الموجبة المذكورة، وتقوم تلك الشوارد بالأدوار الثلاثة للمواد المنظفة.

3. المواد المنظفة غير المتشردة:

تتميز تلك المواد بعدم تشردها رغم احتوائها على جزء كاره للماء وجزء أليف للماء مؤلف من مجموعات قطبية غير قابلة للتشرد ولكنها تجعل المادة الفعالة قابلة للذوبان في الماء، ويجري الحصول على تلك المركبات بمعاملة أكسيد الإتيلين بالكحول أو بالفينول أو بالحموض الدسمة وفقا للمعادلة:

$$C_n H_{2n+1} OH + m (- OC H_2 - CH_2 -) \rightarrow C_n H_{2n+1} (OC H_2 - CH_2 -)_m OH$$

نذكر من تلك المواد أوكتاديسيل الكحول عديدي الإيتوكسيل:

$$C_{18} H_{37} (OC H_2 - CH_2 -)_{10} OH$$

وتحتوي المنظفات على مواد أخرى مساعدة إضافة إلى المادة الفعالة سطحيا"، ونذكر منها:

- مساعدات التنظيف:

تتكون مساعدات التنظيف من المواد الفوسفاتية والكربامات والسيليكات وغيرها، وتقوم تلك المواد بعمليات تسهل للمادة الفعالة سطحيا" القيام بدورها ضمن أفضل الشروط مما يرفع من فعاليتها. وتتصف المركبات الفوسفاتية بدور أساسي في حجز شوارد الكالسيوم ومنع تدخلها السلبي في عملية التنظيف، غير أن الدراسات أثبتت أن للفوسفات آثارا" سلبية في البيئة المائية من حيث

زيادة سرعة تكاثر الطحالب. ويحاول الصناعيون استبدال الفوسفات بمواد أخرى أقل ضررا" على البيئة المائية وقادرة على حجز شوارد الكالسيوم، ولقد استعيض عنها فعلا" في تصنيع أنواع مختلفة من المنظفات، ومن المواد التي عوضت الفوسفات:

- الزيوليت وهو مركب ألمنيو سيليكاتي.
- NTA (Acide Nitril-Tri – Acetique).
- EDTA (Acide Éthylène – Diamine – Tetraacetique).

وتحتوي منظفات الألبسة الخاصة بالغسالات الآلية على مضافات عديدة مساعدة أهمها:

- مواد تزيد من فعالية التنظيف مثل الأكاسيد الأمينية.
- مواد مبيضة وملونة ومعطرة.
- أملاح معدنية.

التأثيرات الضارة للمنظفات في البيئة :

نلخص فيما يلي أهم أضرار المواد المنظفة المنحلة في المياه السطحية:

1) تشكيل طبقة من الرغوة على سطح الماء تؤدي إلى إبطاء عملية التنقية الذاتية داخل الوسط المائي، نتيجة صعوبة اختراق الأكسجين الهوائي لتلك الطبقة. يكفي تركيز قدره (0.3 مغ/ لتر) من المواد المنظفة لتكوين طبقة ثابتة من الرغوة.
2) اضطراب عملية التنقية في محطات المعالجة نتيجة تأثير المواد المنظفة في عمليات التكتل والترقيد وكذلك في عمليات المعالجة الحيوية.
3) تتسمم الأسماك إذا تجاوز تركيز المواد المنظفة (3 مغ/ لتر)، علما" أن درجة التسمم تختلف باختلاف نوعية الأسماك.
4) تعطي للماء طعما" غير مستساغ.
5) إن ارتفاع نسبة الفوسفات في المياه السطحية يؤدي إلى زيادة سرعة تكاثر الطحالب، غير أن تأثير المواد الفعالة سطحيا" في تكاثر الطحالب ضعيف جدا"، أما من ناحية تأثيرها على البكتريا المسؤولة عن عمليات التنقية الذاتية، فإن ذلك يعود إلى نوعية المواد السطحية، حيث أظهرت الدراسات أن المواد الفعالة سطحيا" السالبة أقل تأثيرا" على البكتريا من المواد الفعالة سطحيا" الموجبة.

3. 5. 3 المبيدات Pesticides:

يقصد بالمبيدات المركبات المستعملة لمكافحة الحشرات والنباتات المؤذية (وقد أوردنا في الفصل الثاني أنواع المبيدات المستخدمة). غير أن تلك المركبات تحمل أيضا ضررا" للصحة العامة بما تسببه من تأثير على الخلايا النباتية والحيوانية، ولذلك فإن استعمالها يعدَ سلاحاً ذا حدين، فهي تزيل من جهة ضرراً معيناً، ولكنها تحدث تلوثاً في البيئة الهوائية والمائية من جهة أخرى. وتحدث عملية تلوث المياه بالمبيدات إما عن طريق حملها ضمن مياه الفيضانات إلى المياه السطحية، أو انتقالها عبر التربة إلى المياه الجوفية.

مضار المبيدات المنحلة في الماء:

تعطي المبيدات المنحلة في الماء طعما" ورائحة غير مستساغين للمياه وذلك من أجل تراكيز مختلفة تبعا للمركب المحلول (0.1 – 1000 ميكروغرام / لتر). إن وجود واحد ميكروغرام في اللتر من(HCH) كافٍ لإعطاء طعمٍ سيئٍ للماء، بينما لا يظهر طعمٌ لمركب (DDT) إلا إذا كان تركيزه أعلى من (1 مغ / لتر).

وأشارت الدراسات {111} إلى أن المبيدات تقتل نحو 40 ألف شخص كل عام، كما وتشير تقارير منظمة الصحة العالمية إلى أن هذه المبيدات تحدث نحو 375 ألف حالة تسمم سنويا" في الدول النامية.

تمتلك المبيدات فعلا" ساما" على البيئة المائية، وقد يكون ذلك مباشرا" أو غير مباشر عن طريق انخفاض نسبة الأكسجين المنحل وتغير قيمة pH الوسط وبالتالي تغير تركيز ثنائي أكسيد الكربون المنحل. إن المبيدات المنحلة في الماء لا تؤدي إلى تسمم قاتل بالنسبة للإنسان، ولكنها تتراكم في الجسم وتحدث نوعا من الضرر المستقر، وخاصة المركبات الكلورية، كما أن مادة DDT تؤثر في الكبد والكلى.

تعدّ المركبات العضوية الكلورية أكثر سمية من المركبات العضوية الفُسفورية ، وعموما" فإن مبيدات الحشرات أكثر سمية من مبيدات النباتات.

3. 6 التلوث الإشعاعي Pollution Radioactive:

تسبب إشعاعات ألفا وبيتا وغاما اضطرابات في التوازن الإلكتروني لذرات الخلايا الحية. وقد افترض أن تلك الاضطرابات ناتجة عن عملية تشريد للذرات المتعرضة لتلك الأشعة عن طريق نزع إلكترون أو أكثر منها، وتحويلها إلى شوارد في حالة تمتع الفوتونات أو الإلكترونات أو

البروتونات أو النترونات بطاقة كافية لإحداث عملية التشرد تلك. علما" أن التشوهات الحادثة نتيجة الإصابة بالأشعة تنتقل بالوراثة أيضا" إلى الأجيال اللاحقة.

يجب التفريق بين تعرض الإنسان للتشعيع (Irradiation) والتلوث الإشعاعي، فالحالة الأولى تعني تسليط أشعة ناتجة عن مصدر مشع على جسم الإنسان من مسافة محددة، بينما التلوث الإشعاعي يعني تمركز عناصر مشعة في الجسم الحي، ويكون ذلك التمركز في الجلد أو الجهاز التنفسي أو الجهاز الهضمي، وبالتالي إعطاؤه لإشعاعات مستمرة ولفترة طويلة.

يحدث التلوث الإشعاعي للمياه بطريقتين: تلوث طبيعي وتلوث صناعي.

1) الإشعاعات الناتجة عن المصادر الطبيعية:

هناك في المياه الطبيعية عموما" عناصر مشعة ناتجة عن الطبيعة الجيولوجية لحوض ومجرى المياه، فانحلال أملاح البوتاسيوم يؤدي إلى وجود البوتاسيوم المشع بنسبة 0,0118% من البوتاسيوم الكلي، كما أن بعض أنواع المياه يحتوي عناصر مشعة طبيعية أخرى مثل الراديوم واليورانيوم وغيرهما. غير أن تلك العناصر الطبيعية تتمتع بكثافة إشعاعية خفيفة لاتؤثر على الأجسام الحية وخاصة الإنسان.

2) الإشعاعات الناتجة عن مخلفات الصناعة والتفجيرات النووية:

يزداد التلوث الإشعاعي يوما" بعد يوم نتيجة التوسع الدائم في استعمال المواد المشعة ضمن مجالات الحياة المختلفة. وتعدّ محطات الطاقة الذرية والمستشفيات ومراكز الأبحاث العلمية والصناعات الكهربائية الذرية أهم المنشآت التي تطرح المواد المشعة ضمن مياه الصرف. كما أن التفجيرات النووية مازالت مستمرة وتحمل خطورة كبيرة على الحياة البشرية، فالتفجير النووي في الطبقة الهوائية يؤدي إلى تساقط 5% من العناصر المشعة في منطقة التفجير، بينما الكمية المتبقية (95%) من العناصر المشعة تدخل الطبقة الهوائية العليا وتدور حول الأرض قبل أن تسقط على دفعات وفي مناطق مختلفة من العالم خلال فترة زمنية تمتد من أسبوعين إلى عامين. هذا السقوط للعناصر المشعة يؤدي إلى تلوث الطبيعة بكاملها.

لابد من الإشارة إلى أن المفاعلات النووية المولدة للطاقة والمنتشرة في أوروبا وأمريكا تحدث تلوثا" إشعاعيا" ينعكس على ارتفاع معدلات الإصابة بأمراض السرطان، إن مقدارا" ضئيلا" نسبيا" من الإشعاعات الذرية يمكن أن يسبب سرطان الغدة الدرقية، نظرا" لتركيز اليود في الغدة الدرقية. ونشير إلى أن الإصابة بهذا النوع من السرطان قد تضاعفت ثلاث مرات خلال عشرين عاما" (798 حالة في عام 1975 و 2619 حالة في عام 1995) في فرنسا. أما انفجار مفاعل تشرنوبل الواقعة في مقاطعة كييف الاوكرانية والذي حدث في عام 1986 أدى إلى

تسرب إشعاعات بمعدل 3000 ضعف من معدل التعرض المسموح به في البلدان الأوروبية، وتسبب بترحيل السكان المقيمين على مسافة تمتد 50 كم من الموقع. ويقدر المختصون بأن 40% من أراضي روسيا البيضاء قد أصبحت ملوثة إشعاعيا". ووصلت الإشعاعات الذرية المتسربة من المفاعل إلى أجواء السويد وألمانيا وإيطاليا. وبعد مرور 25 عاما" على الحادثة لايزال عدد كبير من الأشخاص يعانون من مشاكل صحية ناتجة عن الإصابات الإشعاعية (أمراض السرطان وإصابة الجهاز المناعي وأمراض القلب وغيرها). وقد قدرت منظمة الأمم المتحدة في عام 2005 أن عدد الوفيات وصل إلى 4000 شخص نتيجة الحادثة، بينما تقدر منظمة غرينبس عدد الوفيات بأكثر من 100 ألف شخص {112}. ونذكر مثالا" آخر من بريطانيا حيث إن السكان الذين يعيشون بالقرب من نهر سيفيرن الملوث إشعاعيا" يصابون بالسرطان أكثر بثمانين مرة من المناطق الأخرى.

تختلف درجة سمية العناصر المشعة على البيئة المائية باختلاف خواصها الكيميائية والفيزيائية ولاسيما درجة انحلالها في الماء، وتمتلك البيئة المائية وسائلها الدفاعية الطبيعية ضد التلوث الإشعاعي، فالمواد المعلقة الموجودة في المياه الطبيعية تمتص جزءا" من العناصر المشعة، كما أن بعض النباتات والحيوانات المائية تقوم بعملية امتصاص لتلك العناصر المشعة. ولكن من الضروري إزالة التلوث الإشعاعي الصناعي قبل طرح المخلفات في المياه الصناعية، حتى ولو جزئيا" عن طريق إجراء عملية ترشيح دقيق لمياه الصرف الحاوية على ملوثات إشعاعية.

التأثير الحيوي للأشعة:

عندما يكون معدل التشعيع مرتفعا" فإنه يحدث ضررا" في الحمض النووي للخلايا الحية وتخريبا" للبنية وتحريفا" في مستوى الآزوت الأساسي. ورغم قدرة الحمض النووي على تلافي بعض التأثيرات فإن المعدل العالي للأشعة يقتل الخلايا الحية أو يسبب السرطان لها، ونورد فيما يلي حساسية الخلايا الإنسانية للتلوث الاشعاعي:

- الخلايا الدموية (Hématopoiétiques): 2 Sv إلى (5 Sv(sievert .
- الأمعاء: 5 Sv .
- الكبد: أكثر من 40 Sv .
- نظام الأعصاب المركزي: أكثر من 50 Sv .

أما تأثير التعرض الكلي للإشعاعات مقدرا" بالغري (Gray) فهي كالآتي:

- جرعة أقل من 0.2 Gy إلى 0.3 Gy: ليس لها أي تأثير مرضي.

- جرعة تتراوح بين 0.3 Gy إلى 1 Gy: ظهور آلام ورغبة في الإقياء أو حالات إقياء وغيرها من المظاهر المرضية.
- انطلاقا من قيمة أكبر من 2 Gy يصل التأثير إلى النسيج الدموي.
- من 3.5 Gy إلى 5.5 Gy ظهور مظاهر مرضية واضحة وقوية (50 إلى90% من الحالات المصابة بهذا المستوى الإشعاعي تموت نتيجة نزيف دموي).
- من 5.5 Gy إلى 7.5 Gy وصول المرض إلى المعدة والأمعاء وأعراض الأمراض في الدورة الدموية.
- من أجل نسبة تفوق 15 Gy يصل المرض إلى النظام العصبي ويحدث الموت خلال 24 ساعة.

نشير إلى أن Sievert هي وحدة قياس الأشعة المؤثرة في الخلايا الحية ضمن النظام العالمي للواحدات (S I)، أما Gray فإنها وحدة للتعبير عن طاقة الأشعة.

مخاطر التلوث الإشعاعي على الطبيعة:

إن الجسيمات المشعة الأعلى وزنا" تسقط على التربة والمسطحات المائية والنباتات وتلوثها كلها، أما الجسيمات الدقيقة والغازية فإنها تنتقل في الجو إلى مناطق بعيدة لتلوث الجو والأحياء التي تمتصها أو تبتلعها. أما الأحياء فإن التلوث يصيبها مباشرة أو على نحو غير مباشر عن طريق شرب الماء الملوث أو أكل الخضراوات الملوثة.

3. 7 مضار المركبات الثانوية الناتجة عن كلورة الماء:

تنتج مركبات جانبية عند تطبيق التعقيم بالكلور الحر ومشتقاته، مثل ثلاثي هالوجين الميتان (THM) وحمض هالوجين الخل (AHA). وظهرت مركبات ثانوية أخرى متشكلة في عملية الكلورة منها ثنائي كلور الأسيتونتريل (Dichloroacétonitrile) وبروموكلورانيتونيتريل (Bromochloroanétonitrile) وثنائي بروموأسيتونتريل(Dibromoacétonitrile) وثنائي كلور البربانول (1,1-Dichloro-2-Propanone) وغيرها من المركبات الكلورية والبرومية.

- **التأثيرات الضارة على الصحة:**

إن امتصاص جسم الإنسان للمركبات الثانوية لكلورة مياه الشرب يجري أساسا" عن طريق جهاز الهضم، ولكن يمكن أن يمتصها الجلد أو أن تستنشق في أثناء الاستحمام بمياه تحتوي تلك المركبات بنسب تزيد على 50 ميكروغرام/ لتر. إن الكميات الممتصة عن طريق الجهاز

الهضمي يجري استقلابها مباشرة في الكبد، أما المستنشقة أو الممتصة من قبل الجلد فإنها تذهب مباشرة إلى الدم.

تم الكشف لأول مرة عن (THM) في مياه الشرب المكلورة في عام 1974. ويختلف تأثير هذه المركبات على الصحة العامة باختلاف نوعها وتركيزها ضمن مياه الشرب، يسبب الكلوروفورم السرطان في حالة التعرض لفترة طويلة، أما ثلاثي كلور الأسيتات فيسبب السرطان للفئران ولكن ليس للجرذان، وإن التعرض للمواد الثانوية الناتجة عن الكلورة تسبب سرطان الكبد لدى الحيوانات ولكن لم تسببه للإنسان.

بعض مشتقات(THM) وخاصة بروم ثنائي كلور الميتان قد أدت إلى سرطان في الأمعاء الغليظة للحيوانات، علما أن تلك الإصابات تحدث في حالة التعرض إلى كميات كبيرة من (THM). ونورد في الجدول (3 – 5) نتائج الدراسات على عدد من المركبات الثانوية للكلورة وتأثيرها في ظهور أمراض سرطانية على الحيوانات المختبرة.

الجدول 3 – 5: تأثير المركبات الثانوية الناتجة عن كلورة الماء في التسبب بالأورام السرطانية للفئران {66}.

المركب	الجهاز المعرض للإصابة بالأورام السرطانية
Chloloforme	الكبد والمثانة
Bromodichloromethane	المثانة والأمعاء والكبد
Chlorodibromomethane	الكبد
Acide dichloroacetique	الكبد
Acide trichloroacetique	الكبد والرئة
Acide bromodichloroacetique	الكبد والرئة
Acide dibromoacetique	الكبد
Acide bromochloroacetique	الكبد
Haloacetonitriles bromes	الجلد

رغم أن معظم الدراسات على الآثار الصحية لمركبات (THM و AHA) قد تركزت على الأورام السرطانية، فإن عدد من الدراسات قد أكد وجود آثار أخرى لها، مثل دورها في التشوهات التي تحدث لأعضاء الجسم. ونورد في الجدول (3 – 6) بعض نتائج تلك الدراسات.

الجدول 3 – 6: تأثير المركبات الثانوية الناتجة عن كلورة الماء في التسبب بالتشوهات الخلقية للفئران {66}.

اسم المركب	التأثير الصحي
Dichloroacetate	تشوهات في النسيج الرئوي، تلف في الخصية
Haloacetonitriles	موت الأجنة

رغم تلك النتائج المؤكدة على الحيوانات، فإن تأثير التراكيز الخفيفة الموجودة ضمن مياه الشرب في الإنسان لم يتم تأكيدها بشكل مطلق رغم أن معظم الدراسات الإحصائية والمراقبة الطبية لمستهلكي المياه الحاوية على المركبات الثانوية للكلورة قد أكدت وجود تأثير لها في زيادة مستوى الأمراض السرطانية في تلك المناطق، مقارنة بمناطق تشرب مياها" خالية من نواتج الكلورة. وأهم الأمراض السرطانية التي زادت معدلاتها هي سرطان المثانة والمستقيم والأمعاء الغليظة. وقدرت نسبة زيادة سرطان المثانة بما يتراوح بين 14% إلى 15% بسبب المركبات الناتجة عن كلورة الماء.

وقد أظهرت دراسات أخرى أن تركيزا أعلى من 80 ميكروغرام / لتر من (HTM) أدى إلى ارتفاع ملحوظ في معدل الإجهاض عند النساء من جهة، وزيادة نسبة الوفيات في الأطفال حديثي الولادة. يضاف إلى ذلك بوثوقية عالية تأثير تلك المركبات على انخفاض وزن المولود من جهة وتأخير زيادة وزنه بعد الولادة، إضافة إلى زيادة معدل التشوهات لحديثي الولادة.

حددت منظمة الصحة العالمية (OMS) التركيز الأعظمي في مياه الشرب للمواد الثانوية الناتجة عن الكلورة (ملحق 1).

الفصل الرابع

الأسس النظرية للطرائق الأساسية لتنقية المياه

تتطلب معالجة المياه عادة، إشراك عدد من المراحل المتتالية للتصفية من أجل الحصول على نوعية جيدة للمياه الصالحة للشرب والاستعمال المنزلي أو الصناعي. تعتمد تلك الطرائق أو المراحل على أسس فيزيائية أو كيميائية أو حيوية. وتتضمن مراحل تنقية المياه السطحية إزالة المواد المعلقة والغروية كمرحلة أولى، تليها مراحل التخلص من المركبات المنحلة المعدنية أو العضوية الزائدة عن الحد المسموح به طبقا للهدف من استعمال المياه. ويكون الماء المصفى عبر تلك المراحل بحاجة إلى إعادة تصحيح لبعض مواصفاته التي تعرضت للتغيير في أثناء تلك العمليات، ومن هذه المواصفات دليل الهيدروجين والأكسجين المنحل. انطلاقا" من ذلك فإن تحديد طرائق المعالجة الواجب استعمالها يتوقف على عاملين أساسيين هما:

- مواصفات الماء الخام المراد معالجته.
- نوعية ومواصفات الماء المطلوب بعد المعالجة.

ويتضمن هذا الفصل أهم الأسس النظرية لأكثر الطرائق شيوعا" والمستعملة في تنقية المياه السطحية أو الجوفية لإنتاج مياه صالحة للشرب والصناعة عموما"، علما أن بعض الصناعات تتطلب مراحل أخرى إضافية للحصول على مياه بنوعية محددة.

4. 1 التهوية:

هناك بعض المركبات التي تعطي للماء طعما" أو رائحة مثل كبريت الهيدروجين وبعض المركبات الطيارة الناتجة عن تفكك الطحالب والمركبات العضوية التي يمكن إزالتها بالتهوية.
يمتص الماء الغاز من الجو عندما يكون تركيزه في الماء أقل من القيمة التوازنية ضمن الشروط البيئية المحيطة، بينما يحدث العكس (تحرر الغاز من الماء) في حالة كون تركيز الغاز أعلى من القيمة التوازنية.
يعتمد مبدأ التهوية على وضع الماء في تماس مع الهواء بدرجة كبيرة تسمح بتغيير تركيز بعض المواد القابلة للتبخر أو بعض الغازات المنحلة. وتستعمل عملية التهوية للتخلص من غاز كبريت الهيدروجين المنحل وغاز ثنائي أكسيد الكربون وغاز الميتان وغاز الأمونيا وغيرها. وتؤدي عملية

التهوية إلى أكسدة الحديد الثنائي إلى الحديد الثلاثي وكذلك المنغنيز الثنائي لتتحول بدورها إلى مركبات راسبة يمكن التخلص منها إما بالترقيد أو الترشيح.
تتعلق عملية إزالة الغازات بالتهوية بدرجة انحلال تلك الغازات في الماء، وتتعلق الانحلالية بقانون هنري (HENRY):

$$Cs = K_H . P$$

حيث إن : Cs التركيز الإشباعي للغاز في الماء.
K_H ثابت هنري أو معامل الامتصاص.
P الضغط الجزئي للغاز في الهواء.

تعتمد انحلالية الغاز في الماء على ضغطه الجزئي في الهواء، على سبيل المثال في الدرجة 20 مئوية على مستوى سطح البحر فإن الماء الذي على توازن مع الهواء الجوي يحوي 15.8 جزءا" في المليون (ppm) من غاز الآزوت و 9.4 جزءا" في المليون (ppm) من الأكسجين و 0.5 جزءا" في المليون (ppm) من غاز ثاني أكسيد الكربون .
إن التبادل الغازي بين الطور السائل (الماء) والجو المحيط به يحدث على سطح السائل الملامس للهواء، وسرعة التبادل تتعلق بالتركيز النسبي للغاز على سطح الماء وعلى سرعة إعادة تزويد السطح بالغاز، ويمكن التعبير عن التبادل للغاز بين الطور السائل والهواء بالعلاقة:

$$C t = C s - (Cs - C_0) 10^{- K (S/v) t}$$

حيث إن: C t – تركيز الغاز في الماء بالزمن t, C s - تركيز الإشباع للغاز في الماء،
C_0– تركيز الغاز في الماء بالزمن t_0, K– معامل الانتقال للغاز،
S - سطح الماء المعرض للتلامس مع الطور الغازي، v – حجم الماء،
t – زمن التماس.

إن سرعة التبادل للغاز بين الطور الغازي والماء متعلقة بكل لحظة بالفرق بين C s و C t وتتناسب طردا" مع النسبة بين سطح السائل وحجمه (S/v) ومع معامل الانتقال، أما درجة الحرارة والضغط فهما عاملان مهمان ولكنهما يدخلان مباشرة في قيمة التركيز الإشباعي.

4. 2 إزالة المواد المعلقة والغروية:

إن الشوائب الصلبة في المياه السطحية من أهم الملوثات وأكثرها انتشارا"، وهي تزال في المرحلة الأولى من التنقية. ويمكن تقسيم الشوائب الصلبة المعلقة في الماء إلى نوعين، تبعا" لأبعاد جسيماته، وهما:

النوع الأول: يتضمن الجسيمات كبيرة الحجم نسبيا" والتي تتوضع بسرعة في المياه الراكدة دون إضافة كواشف كيميائية، ولذلك يتم التخلص منها بإجراء عملية ترقيد أولية.

النوع الثاني: يعرف هذا النوع بالغرويات التي تتكون من جسيمات دقيقة بطيئة الترسب، ولذلك تجرى لها عملية تكتل قبل إدخالها مرحلة الترقيد والترسيب، ويقصد بعملية التكتل تجميع الجسيمات الدقيقة بفعل كيميائي أو فيزيائي وتحويلها إلى جسيمات أكبر تتمتع بزمن ترسيب مناسب مع زمن الترقيد في أحواض المعالجة.

وتتمتع المواد المعلقة والغروية بخواص مشتركة، أهمها:

– تخضع الجسيمات المعلقة لقانون الجاذبية الأرضية وبالتالي تترسب في أسفل الحوض المائي، وينتج عن عملية الترسب تلك في المياه الطبيعية انسداد المنافذ بين الحوض السطحي والحوض الجوفي، وتتعلق سرعة الترسيب بعوامل عديدة أهمها نصف قطر الجسيم ولزوجة الوسط والفرق بين الكتلة النوعية للجسم والكتلة النوعية للماء. تعطي العلاقة التالية سرعة ترسب الجسيمات المعلقة:

$$u = \frac{2\ r^2\ (d - d^o)\ g}{9\ \eta}$$

u سرعة سقوط الجسيم ضمن الوسط المائي.

r نصف قطر الجسيم.

η لزوجة الوسط.

g الجاذبية الأرضية.

d الكتلة النوعية للجسيم.

d° الكتلة النوعية للماء.

– تتمتع الجسيمات المعلقة بخاصية الامتزاز وخاصية التبادل الشاردي، وينتج عن تلك الخاصيتين تركيز لبعض المركبات المنحلة في الوسط المائي وخاصة المعادن على سطح الجسيمات المعلقة، وتتجمع البكتريا على تلك الجسيمات.

– تتعرض الجسيمات المعلقة إلى قوى أخرى غير قوة الجاذبية الأرضية، خاصة إذا كانت صغيرة الحجم ومصنفة ضمن المحاليل الغروية المتمتعة بسرعة ترسب صغيرة جدا". وتشحن سطوح الجسيمات إما نتيجة تفكك الجزيئات على سطحها وتشردها أو نتيجة امتزاز الجسيمات لشوارد معينة. وينتج عن هذه الظاهرة عملية تراكم للجسيمات المشحونة بشحن كهربائية متعاكسة مما يؤدي بدوره إلى تشكيل الطبقة الثنائية الكهربائية .
عموما" وبحسب قانون فيك (FICK)، تتناسب سرعة التوضع طردا" مع أبعاد الجسيمات المعلقة، يعطي الجدول (4 – 1) فكرة عن الزمن اللازم لتوضع جسيمات مختلفة الأبعاد.

الجدول 4 – 1: زمن الترسيب لمواد مختلفة في حجم جسيماتها.

نوع الجسيمات	الحصى	الرمل	الرمل الناعم	التراب	البكتريا	الغرويات
الأبعاد (مم)	10	1	0.1	0.01	0.001	0.0001
زمن الترسيب من أجل مسار ارتفاعه 1 متر	1 ثانية	10 ثانية	2 دقيقة	2 ساعة	8 يوم	2 عام

نلاحظ من خلال المعطيات الواردة في الجدول أعلاه أن فعالية عملية الترقيد الأولية للماء متعلقة بزمن بقاء الماء في الحوض.
بعد إجراء عملية الترقيد الأولية والتخلص من المعلقات ذات الأبعاد الكبيرة والوزن المرتفع نسبيا (باستثناء الأجسام الطافية على سطح الماء بسبب كثافتها الأقل من كثافة الماء التي تتم إزالتها بطرائق مختلفة)، يدخل الماء إلى حوض التكتل ثم إلى حوض الترقيد الثاني للتخلص من الجسيمات الدقيقة والغرويات المتكتلة، وكذلك يتم التخلص في هذه المرحلة من بعض الأجسام الحية والمواد الكيميائية التي تمتز على سطح الكتل الغروية خلال عبورها للطور السائل باتجاه قعر الحوض.

4. 2. 1 التخثر والتكتل:

الغاية من عملية التكتل هي تجميع الأجسام الصغيرة المعلقة في الوسط المائي في كتل أكبر للإسراع في عملية الترسيب. وتحدث بتأثير فعلين مختلفين هما:

- الفعل التخثري(Coagulation): يتلخص دوره بإحداث حالة عدم استقرار في الجملة الغروية، نتيجة إضافة مواد كيميائية قادرة على إزالة القوى الدافعة المتمركزة على سطح الدقائق الغروية المعلقة في الوسط المائي، أو احتمالية تفاعل تلك الكواشف الكيميائية مع المجموعات الأليفة للماء والداخلة في تركيب الدقائق الغروية، تسمى الكواشف الكيميائية التي تؤدي هذا الدور بالمخثرات (Coagulants).
- الفعل التكتلي: بعد أن تتحرر الدقائق الغروية من شحنتها نتيجة فعل المخثر، تبدأ عملية التجمع معا" بتأثير قوى مختلفة لتشكل في البداية جسيمات ذات أبعاد تقارب 0.1 ميكرون تقريبا" نتيجة للحركة البراونية، ثم تجتمع تلك الدقائق في مجموعات أكبر حجما بتأثير تحريك ميكانيكي خارجي (تحريك هادئ)، أو بارتباطها بالمخثرات ذاتها، وهذا الفعل يمكن تسميته بالفعل التكتلي.

تصنف الغرويات في الماء ضمن صنفين أساسيين هما:

- الغرويات الأليفة للماء.
- الغرويات الكارهة للماء.

يحتوي الماء الطبيعي، الغرويات الأليفة للماء التي ترتبط بجزيئات الماء بالرابطة الهيدروجينية. إن الجزيئات الضخمة (البوليميرات) ذات الأصل العضوي تشكل هذا النوع من الغرويات. تقود عمليات الارتباط بين تلك الجزيئات الضخمة والماء إلى تشتتها وانحلالها في الوسط المائي، وعملية التشتت تلك عملية عكوسة، بحيث يمكن تجمعها من جديد على خلاف الكارهة للماء المتميزة بأنها غير عكوسة. ومن أهم الغرويات الأليفة للماء البروتينات والسكريات المضاعفة والمواد الدبالية والصابون والخشبين(Lignine).

ومن أهم الغرويات الكارهة للماء جزيئات السيليس والعديد من الترسبات الغروية وبدرجة أقل التربة، مع العلم أن هذه الأخيرة هي الأساس في تعكر المياه السطحية الطبيعية.

إذا وضعت تلك الدقائق الغروية في حقل كهربائي، ودرست حركتها بالمجهر، يلاحظ أن بعضها يتجه نحو القطب السالب، وبعضها الآخر نحو القطب الموجب، وتسمى هذه الظاهرة بالهجرة الكهربائية (Électrophorèse). تحتوي الغرويات المتجانسة كهربائيا" دقائق موحدة الشحنة، سالبة أو موجبة. في حالة المياه الطبيعية، فإن أكثر الدقائق الغروية تكون مشحونة سلبا"، مع العلم أنه في حالات خاصة يمكن العثور على جسيمات مشحونة إيجابيا". تكتسب الجسيمات الغروية شحنتها إما بتشرد الجزيئات المكونة لها، أو بامتزاز نوعي لشوارد قادمة من الوسط المائي الموجودة به تلك الجسيمات الغروية.

الدراسات المتعاقبة لتلك الدقائق أكدت أنها تتشكل من طبقتين أساسيتين ولذلك عرفت النظرية باسم الطبقة الثنائية. وهكذا فإن الجسيم الغروي ليس جسما" مشتتا" ومؤلفا" من عدد كبير من الجزيئات ذات صفات فيزيائية معينة فحسب، ولكنه يشكل معقدا" تكون فيه مادة الطور المشتت (نواة الجسيم) على علاقة فيزيائية كيميائية محددة مع وسط التشتت (المحلول) تربطهما طبقة ثنائية كهربائية من الشوارد، وفي بعض الأحيان يربطهما غلاف متين من جزيئات المذيب، إن هذا المعقد المؤلف من مواد مختلفة مرتبطة ببعضها البعض يسمى الميسيلا (Micelle).

يحتوي الماء دائما" على شوارد ناتجة عن تشرد الكهرليتات المنحلة به، إضافة إلى كون الماء جزيئا" قطبيا". فإذا ما وجد ضمن هذا الوسط جسيمات غروية مشحونة، فإنها تقوم بعملية جذب كهربائي للشوارد المخالفة لها بالشحنة، وبالوقت نفسه توجه جزيئات الماء القطبية القريبة منها وتدفع الشحنات الموافقة لها بعيدا"عن الميسيلا. إن الشوارد التابعة ذات الشحنة المعاكسة للشحنة الأساسية للدقيقة الغروية، تُقسم إلى قسمين:

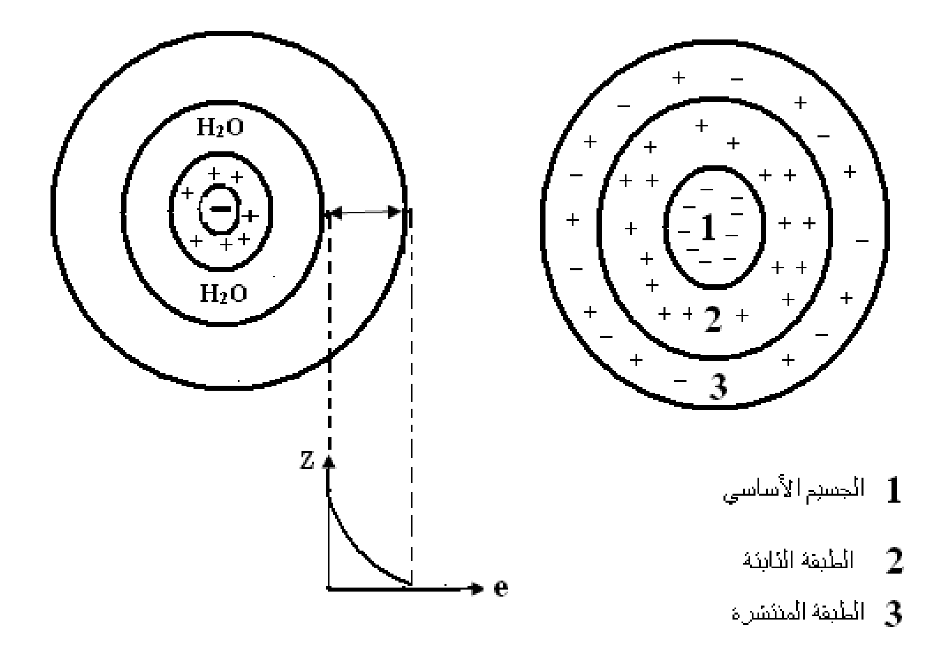
- القسم الأول يثبت على الدقيقة مصحوبا" بجزيئات الماء المرتبط معها بقوى جذب كهربائي أو بروابط هيدروجينية وتشكل معاً الطبقة الثابتة.
- القسم الثاني يتكون من غيمة منتشرة مكونة ما يسمى بالطبقة المنتشرة.

إن المجموعة بكاملها المؤلفة من الطبقات الثلاث تشكل من الناحية الكهربائية مجموعة متعادلة (الشكل 4 – 1).

إذا أحدثنا حقلا" كهربائيا" في الوسط، تهاجر الدقائق باتجاه القطب المخالف لها بالإشارة، حاملة معها الطبقة الثابتة وجزيئات الماء المرتبطة بها أي الجملة بكاملها. إن سرعة الهجرة الكهربائية تلك (Vitesse Ėlectrophorètique) متناسبة مع الكمون بين القطبين مقسوما" على المسافة بينهما، وهو ما يسمى بتدرج الكمون (Gradient de Potentiel)، ومتناسبة أيضا" مع الكمون الموجود بين سطح الجملة المتحركة والسطح الخارجي للطبقة المنتشرة. إن هذا الكمون الأخير يدعى كمون زيتا أو الكمون الكهرحركي (Potentiel Zêta) ويعطى بالعلاقة:

$$(1) \quad Z = \frac{K.e.q}{D}$$

حيث إن: Z : كمون زيتا، e : سمك الطبقة المنتشرة،q : شحنة الجملة المتحركة من أجل واحدة السطوح، D: ثابت العزل الكهربائي، K: ثابت متعلق بحجم الجسيم ويساوي إلى (4 π) للجسيمات الكبيرة، و(6 π) للجسيمات الصغيرة والكروية.



الشكل 4 – 1: الدقيقة الغروية وطبقاتها الثلاث (الميسيلا)، وكمون زيتا للجسم الغروي.

أما سرعة الهجرة الكهربائية (m) الموافقة لكمون شدته تعادل واحدة الشدة فتساوي:

$$m = \frac{v}{p} = \frac{Z \cdot D}{K \cdot \mu} \qquad (2)$$

حيث تمثل V سرعة الهجرة الكهربائية و P مقدار تدرج الكمون و µ اللزوجة، بتبديل قيمة Z بما يساويها في العلاقة (1) فإن m تعطى بدلالة الشحنة q وسمك الطبقة المنتشرة.

$$m = e\ \frac{q}{\mu} \qquad (3)$$

يرتبط استقرار وثبات الجسيم المعلق بقيمة الكمون زيتا للدقائق المؤلفة له، أو بسرعة الهجرة الكهربائية. فالمعلقات الثابتة تتمتع بكمون زيتا من مرتبة (50 ميلي فولت)، بينما المعلقات غير المستقرة تتميز بكمون منخفض (أقل من 20 ميلي فولت). يحسب الكمون زيتا من العلاقات السابقة بعد قياس (m) باستعمال جهاز يسمى مقياس زيتا (Zêtamètre) أو جهاز الإلكتروفريز.

وبعكس القوى الكهربائية الساكنة الدافعة، فإن قوى التجاذب (قوى فاندرفالس) تشجع عملية التجمع للجسيمات الصغيرة مع بعضها بعضا. وهذه القوى بين الجزيئات قائمة على ظاهرة امتزاز بين أجسام تتمتع ببنية جزيئية مختلفة.

نبحث في مجال تنقية المياه عن طريقة تزيل استقرار المعلقات الغروية وتساعد على تجمعها في كتل كبيرة وسريعة الترسب. ويتم ذلك بإنقاص مفاجئ للكمون زيتا (Z)، مما يسمح لتلك الدقائق بالتجمع من جديد اعتمادا على الحركة البراونية. يعطى معدل التناقص لعدد الجسيمات الغروية في واحدة الحجم بعلاقة رياضية استخرجها الباحثان (SWIFT وFRIEDLANDER):

$$- \frac{dN}{dt} = k \frac{f \cdot T}{\eta} N^2$$

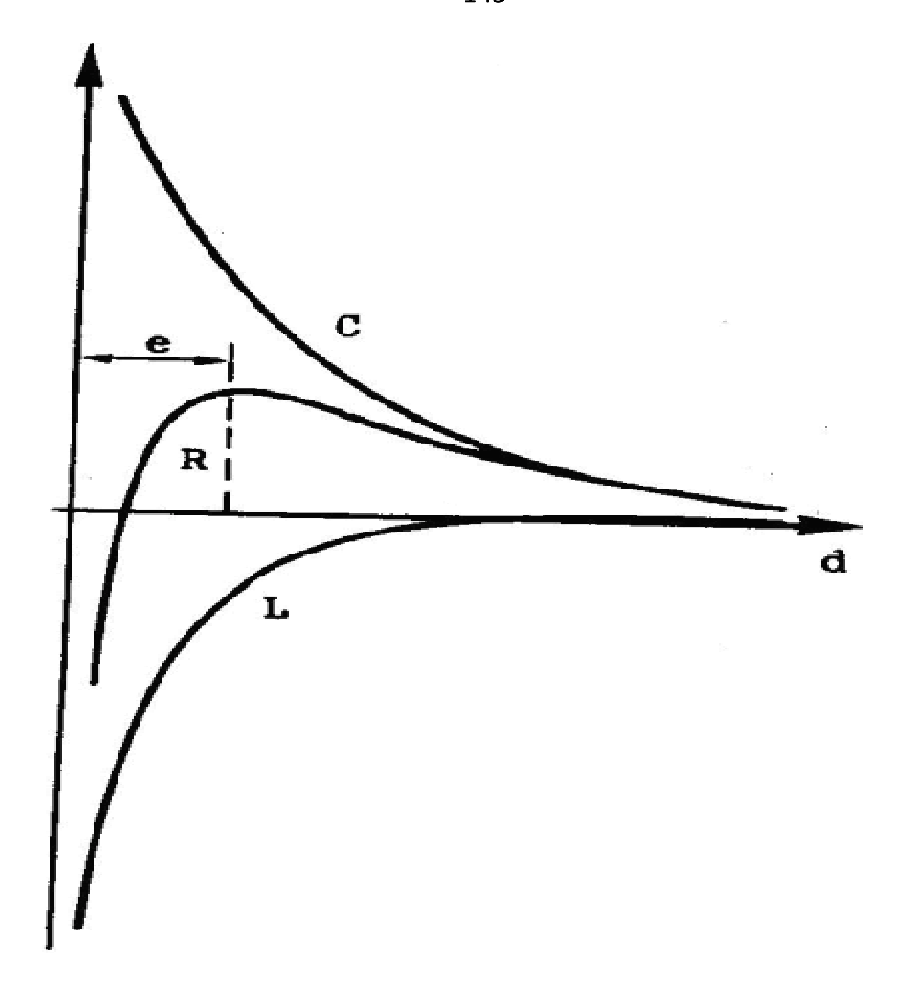
حيت إن:(dN /dt -) تمثل معدل التناقص في عدد الجسيمات الغروية بواحدة الحجم.

f: نسبة الاصطدامات التي تقود إلى تكتلات أكبر، T: درجة الحرارة المطلقة. η: اللزوجة، k: ثابت، N: عدد الغرويات في واحدة الحجم وفي زمن معين t.

يتناسب المعامل f عكسا" مع الكمون Z ومع درجة حلمهة الغرويات، بينما هو يتناسب طردا" مع القوى الجاذبة، وقيمته محصورة بين 0.1 و 0.5 ، يتضح من العلاقة السابقة أيضا، أن التكتل متعلق بتركيز الجسيمات المعلقة. ففي المحاليل المركزة تكون عملية الترسيب سريعة وتتباطأ مع نقصان التركيز.

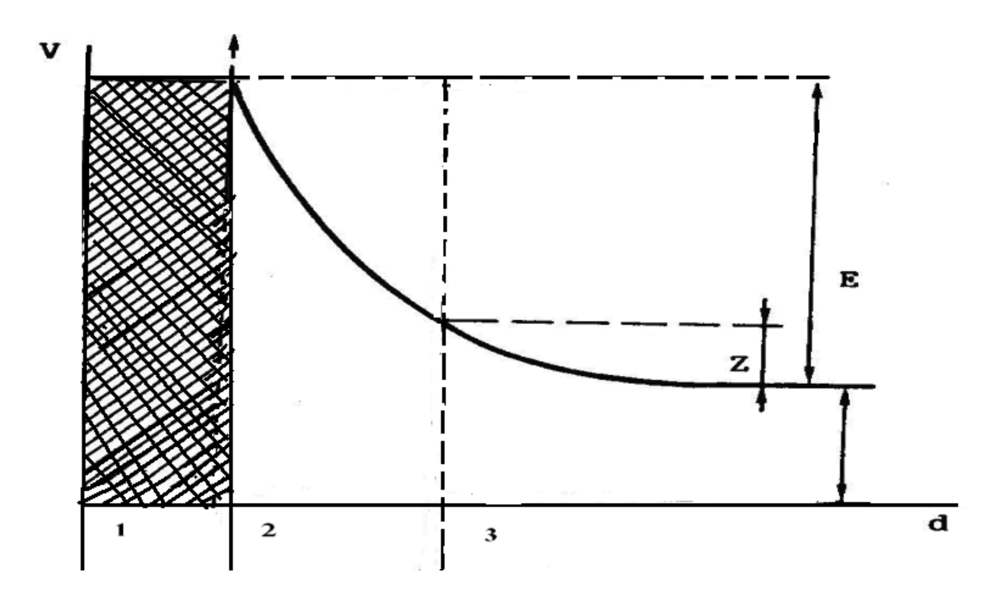
هناك قوى أخرى تتدخل وتعاكس قوى التنابذ وتعرف بقوى(لندون– فاندرفالس) وهي فعالة في حالة المسافات الصغيرة فقط، ويوضح الشكل (4 – 2) تحولات طاقة الجذب والدفع بدلالة المسافات عن الشحنة.

يدل المنحني R الممثل لمحصلة القوى الجاذبة والنابذة على أن الجسيمات التي تقترب من بعضها بعضا بمسافة أقل من e فإنها تتلاحم نتيجة تفوق طاقة الجذب على طاقة الدفع.



الشكل 4 – 2: تحولات قوى كولومب (C) وقوى فاندر فالس (L) ومحصلتهما (R) بدلالة البعد عن السطح الفاصل بين الجسيم والوسط السائل (d).

إن إلغاء الكمون زيتا (Zêta) الموافق للفرق في الكمون للسطح الفاصل بين الطبقة الثابتة والطبقة المتحركة من جهة والمحلول من جهة أخرى (الشكل 4 – 3) يمثل عملية إلغاء للقوى الدافعة (قوى كولومب) وبالتالي حدوث عملية التجمع للجسيمات المعلقة.



(1) الحاجز، (2) الجزء الثابت من الطبقة، (3) الجزء المتحرك من الطبقة الثنائية (الطبقة المنتشرة)

الشكل 4 – 3: بنية الطبقة الثنائية الكهربائية الحاوية على كمون زيتا (Z) والكمون الترموديناميكي (E) ،

إن انقاص كمون زيتا يحدث بإجراء عملية ضغط للطبقة المنتشرة (طبقة 3) أو توسيع للطبقة الثابتة (الطبقة 2 في الشكل 4 – 1)، مما يخفف من تأثير الشحنة المركزية للجسيم المعلق وبالتالي إحداث حالة عدم استقرار. تستعمل عادة الكهرليتات القوية للقيام بهذا الدور، حيث يؤدي وجودها إلى إنقاص سمك الطبقة المنتشرة والسماح إلى شوارد مخالفة بشحنتها للجسيم المركزي بالتسلل إلى داخل الطبقة الثابتة، ومن أهم الكهرليتات المستعملة شوارد الألمنيوم (Al^{+3}) والحديد (Fe^{+3}) لفعاليتها القوية.

تعدّ عملية تكوين المتكتلات ظاهرة معقدة لأن أملاح الألمنيوم مثلا" تؤدي دور المخثر في البداية ثم تتكاثف (تتبلمر) وتقوم بدور المكتل أيضا". كما أن المكتلات الشاردية للجزيئات الضخمة الحاملة لشحنات موافقة لشحنات الجسيمات المعلقة، يمكنها أن تؤدي دورا" موجبا في عملية التخثر.

تتدخل عوامل عديدة في عملية التكتل. نذكر منها قيمة pH الوسط الذي يؤثر على درجة تشرد الأملاح الموجودة، مما يؤدي إلى ظهور شوارد أو اختفاء شوارد أخرى، وهذا ما يؤثر بدوره على القوى الدافعة، كما أن تحريك الوسط يزيد من احتمال التقاء الجسيمات الدقيقة المعلقة وبالتالي زيادة سرعة تكتلها وترسبها، غير أن التحريك السريع يمكن أن يؤدي إلى نتيجة عكسية بسبب تكسيره للكتل المتشكلة.

4. 2. 2 الترسيب:

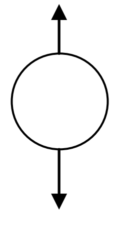
يمكن تمييز نوعين من المواد الراسبة:

- النوع الأول: يتضمن الدقائق المنفصلة بعضها عن بعض، والتي تتمتع بسرعة ترسب ثابتة.
- النوع الثاني: يتضمن الدقائق المتكتلة نتيجة فعل طبيعي أو عملية التكتل الصنعي، إن ترسب تلك الدقائق في الوسط ضعيف التركيز يجري بانفراد، ولكن سرعتها تتغير خلال عملية السقوط نتيجة اصطدامها بدقائق أخرى وتكتلها معها مما يزيد في حجم الجسيمات وبالتالي تزداد سرعة الترسيب. يعرف هذا النوع بالترسيب الانتشاري، أما في الأوساط عالية التركيز بالمواد المعلقة، فإن غزارة الكتل المتكونة تقود إلى ترسيب جماعي، وبذلك تبدو وكأنها تشكل طورا" منفصلا" عن الطور السائل، ومميزا بسطح فاصل بينهما، يعرف هذا النوع من الترسيب بالترسيب المكبسي.

آ) ترسب الدقائق الحُبيبية:

يخضع الجسيم الموجود في سائل ساكن لقوة محركة باتجاه الأسفل (Fm) مساوية لثقله، وقوة مقاومة للحركة (Ft) متجهة نحو الأعلى، في لحظة انطلاق الحركة تكون السرعة البدائية معدومة، غير أن الجسيم يتسارع إلى أن تصل سرعته إلى قيمة ثابتة بعد زمن قدره (t)، وهذا الزمن صغيرٌ جدا" إذا ما قورن بالزمن الكلي للترسب، ولذلك تهمل تلك المرحلة البدائية المتميزة بالتسارع، وعندما تصل سرعة الجسيم إلى السرعة الحدية الثابتة تكون القوتان (Fm و Ft) المتعاكستان متساويتين.

$$Ft = P + f$$



Fm: وزن الجسيم ويساوي (m. g).

P : دافعة أرخميدس.

f: قوى الاحتكاك للجسيم في أثناء سقوطه.

يسمح قانون نيوتن في الحركة في التعبير عن التسارع (d Vs /dt) بالعلاقة التالية:

$$(1) \qquad m\,(dVs/dt) = Fm - P - f$$

حيث تمثل Vs سرعة الجسيم.

نبدل كلا" في قيمته بالعلاقة (1) فنحصل على العلاقة (2):

$$(2) \qquad m\,(dVs/dt) = m.\,g - m`.\,g - f$$

ولكن:

$$(3) \qquad m.\,g = V.\,ds.\,g$$
$$(4) \qquad m`.\,g = V.\,de.\,g$$

حيث إن:

`m: كتلة السائل المزاح، V: حجم الجسيم، ds : كثافة الجسيم الصلب، de: كثافة السائل، g : التسارع الأرضي.

وتتعلق قوة الاحتكاك بمعامل الانزلاق (C) الذي يتعلق بدوره بمعامل رينولدز (Re).

$$(5) \qquad f = \frac{C \cdot S \cdot de \cdot Vs^2}{2}$$

حيث تمثل (S) مقطع الجسيم الصلب الكروي المترسب. وتعطي العلاقتان الآتيتان (6، 7) قيم كل من C و Re:

$$(6) \qquad C = \frac{a}{Re^n} \qquad\qquad (7) \qquad Re = \frac{2\,de \cdot Vs \cdot r}{\eta}$$

حيث: r نصف قطر الجسيم الكروي و n و a ثوابت رينولدز، أما η فهي اللزوجة الديناميكية للسائل.

يصبح قانون نيوتن على الشكل التالي (العلاقة 8):

$$(8) \qquad (dVs/dt) = g\,(ds - de)\,V - \frac{C \cdot S \cdot de \cdot Vs^2}{2}$$

بعد وصول الجسم إلى السرعة الحدية فإن التسارع يصبح معدوما" وبالتالي فإن العلاقة (8) تصبح وفق الآتي، بعد تبديل (Vs) سرعة المرحلة الابتدائية بالسرعة الحدية (Vl) :

$$(9) \qquad 0 = g\,(ds - de)V - \frac{C \cdot S \cdot de \cdot Vl^2}{2}$$

$$(10) \qquad Vl^2 = \frac{2\,g\,(ds - de)V}{C \cdot de \cdot S}$$

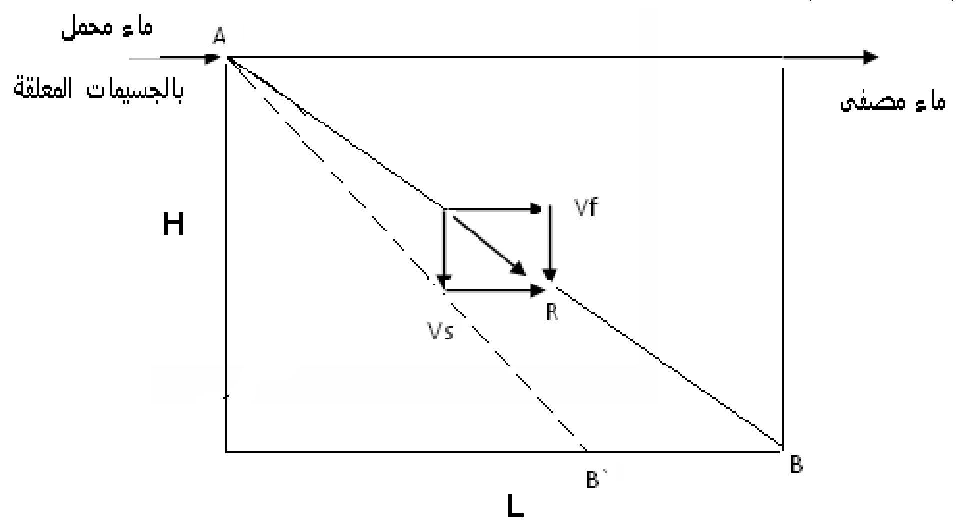
إن النسبة (V/S) في حالة الجسيمات الكروية تساوي القيمة (4r / 3) وبالتالي تصبح العلاقة (10) على الشكل التالي:

$$(11) \qquad Vl^2 = \frac{8\,g\,(ds - de)\,r}{3\,C \cdot de}$$

في حالة النظام الانزلاقي فإن قيمة الثابت(Re) تكون أقل من الواحد، وبالتالي فإن السرعة الحدية للجسيم تعطى بالعلاقة المعروفة باسم علاقة ستوكس (العلاقة 12):

$$(12) \qquad Vl = \frac{2\,g}{9\,\eta}(ds - de)\,r^2$$

لنفترض أن عملية الترسيب حدثت في حوض عادي، حيث يدخل الماء المحمل بالجسيمات من طرف ويخرج من الطرف المقابل ماءً مصفى بعد ترسب كافة الجسيمات المعلقة داخل الحوض (الشكل 4 – 4).



الشكل 4 – 4: حوض ترسيب عادي يدخله الماء الخام بسرعة معينة ويبلغ طوله L وارتفاعه H.

تخضع الجسيمات المعلقة في الماء المتحرك الداخل من أعلى طرف الحوض لمحصلة القوى (R) الناتجة عن سرعة السقوط للجسيم (Vs) وعن سرعة قذف الجسيم المحمول ضمن الماء (Vf). ويمثل الخط BA مسار الجسيم المعلق الحبيبي، بينما يمثل الخط المتقطع B`A مسير الجسيم المعلق المتكتل الذي يزداد حجمه ووزنه في أثناء عبوره الوسط المائي نتيجة حدوث عملية التكتل، ويعتمد انزياح النقطة `B عن النقطة B على فعالية التكتل وعلى ارتفاع الحوض.

يجب أن يتمتع حوض الترقيد بطول يسمح له بترسيب أدق الجسيمات الحُبيبية وزنا".

لنفرض أن t_1 هو الزمن اللازم ليقطع الجسيم المسافة H فيكون:($t_1 = H/Vs$).

ولنفترض أن t_2 هو الزمن اللازم ليقطع المسافة L فيكون: ($t_2 = L / Vf$).

عندما تكون $t_1 \leq t_2$ ، يكون:

$$H/Vs \leq L / Vf \qquad (13)$$

ولدينا العلاقة:

$$Vf = Q / H.\,I \qquad (14)$$

حيث تمثل I عرض الحوض و Q تدفق الماء.

وتكون السرعة :

$$Vl \text{ أو } Vs \geq Q/ I.\,L = Q / S \qquad (15)$$

حيث تمثل S سطح الحوض، و Vl سرعة الحُبيبات بالاتجاه العرضي للحوض.

إن القيمة ($V_H = Q / S$) تعرف بسرعة هازين (HAZEN).

نلاحظ من العلاقة السابقة أن سرعة هازين لا تتعلق مباشرة بارتفاع الحوض، وهي تمثل السرعة الصغرى الحدية اللازمة لإحداث عملية التصفية. ويجب ألا تتجاوز سرعة هازين القيمة (1.5 م / سا) في التطبيقات العملية لإعطاء تصفية جيدة للماء. ويمكن تجاوز تلك القيمة في بعض الأحيان لتصل إلى (3.5 م / سا) في حالة كون الماء المراد تصفيته ذا نوعية جيدة. وبما أن علاقة سرعة هازين مرتبطة بأبعاد الحوض كما هو موضح بالعلاقة:

$$V_H = Q / S = H / t \qquad (16)$$

وعندما نثبت سرعة هازين على القيمة (1.5 م / سا) يصبح بالإمكان تحديد أبعاد الحوض.

تؤدي قيمة معامل رينولدز Re دورا" في تحديد العلاقة المستخدمة لحساب السرعة، فإذا كانت قيمته كبيرة تصبح قوى اللزوجة مهملة.

يوجد معامل تصحيحي يسمى معامل الشكل الكروي، ويرمز له بالرمز (ψ)، ويمثل النسبة بين حجم كرة لها سطح الحبيبات الموجودة نفسها، وبين حجم تلك الحبيبات. يعطي الجدول (4 –

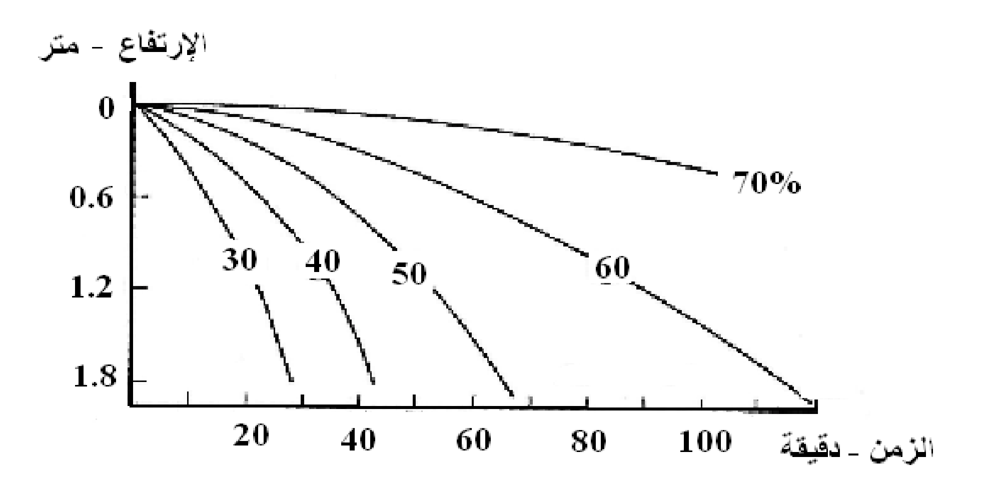
2) بعض القيم لمعامل الشكل الكروي من أجل عدد من المواد التي نصادفها في عملية تنقية المياه.

الجدول 4 – 2 : بعض القيم لمعامل الشكل الكروي (Ψ) لبعض المواد.

المادة	رمل	فحم	تالك	غرانيت	ميكا	جبس
Ψ	2	2.25	3.25	22	170	4

ب) ترسب مترافق مع التكتل:

تترافق هذه الحالة مع زيادة في حجم الدقائق في أثناء ترسبها نتيجة الاصطدام فيما بينها، ولذلك فإن سرعة الهبوط تتزايد مع الزمن بعكس الترسب الحُبيبي ذي السرعة الثابتة. إن مسار السرعة في هذه الحالة يكون منحنيا". وليس هناك علاقات رياضية لمثل تلك الترسبات، بل إن تحديد السرعة يتم بعد إجراء دراسات مخبريه ورسم المنحنيات البيانية للنسبة المئوية المترسبة بدلالة الزمن وارتفاع حوض الترسيب كما هو موضح بالشكل (4 – 5).

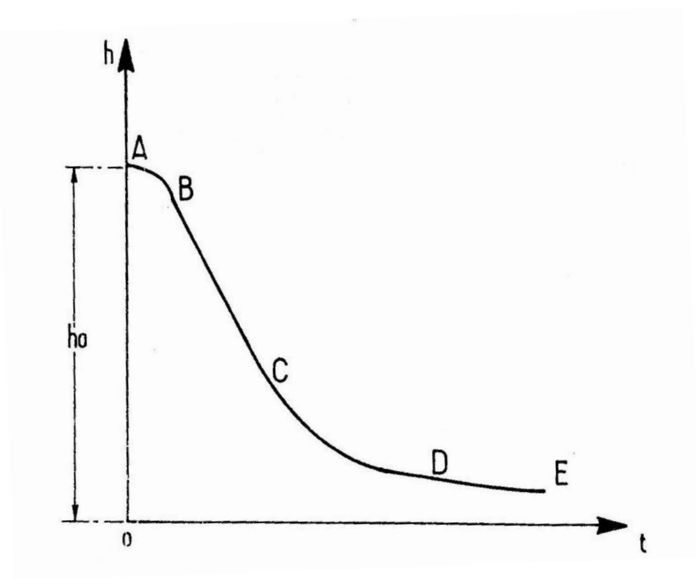


الشكل 4 – 5: ارتفاع الحوض بدلالة الزمن وذلك من أجل نسب مختلفة من الترسب {33}.

ج) الترسيب المكبوح بالدقائق المتكتلة:

ويكون هذا النوع من الترسيب في الأوساط المركزة جدا" بالمواد الغروية أو المعلقة (أكثر من 500 مليغرام / لتر). حيث تتلاصق الدقائق فيما بينها متحركة على شكل طور منفصل عن الطور السائل بسطح فاصل بينهما، يمكن ملاحظة ومتابعة هبوطه بوضوح بالعين المجردة.

درس العالم كنش (KYNCH)هذا النوع من الترسيب وخلص إلى نظرية عرفت باسم نظرية كنش في الترسيب المكبوح. تعتمد النظرية على الفرضية القائلة: إن سرعة هبوط دقيقة معينة تتعلق فقط بالتركيز الموضعي للدقائق، وعند إجراء عملية ترسيب مكبسي (Décantation en Piston) في حوض ذي ارتفاع وسطح كافيين لعملية الترسيب فإن قياس ارتفاع الطبقة العليا للطور المترسب بدلالة الزمن يعطي منحنيا" بيانيا" يؤكد وجود أربع مراحل منفصلة (الشكل 4 – 6).



الشكل 4 – 6: ارتفاع الطبقة العليا للطور المترسب بدلالة الزمن {33}.

المرحلة الأولى: تمتد من A إلى B، يكون السطح الفاصل بين الطور المترسب والوسط المائي في هذه المرحلة غير واضح تماما، لكونها تمثل مرحلة تلاحم الكتل فيما بينها، تختفي هذه المرحلة في العديد من الحالات.

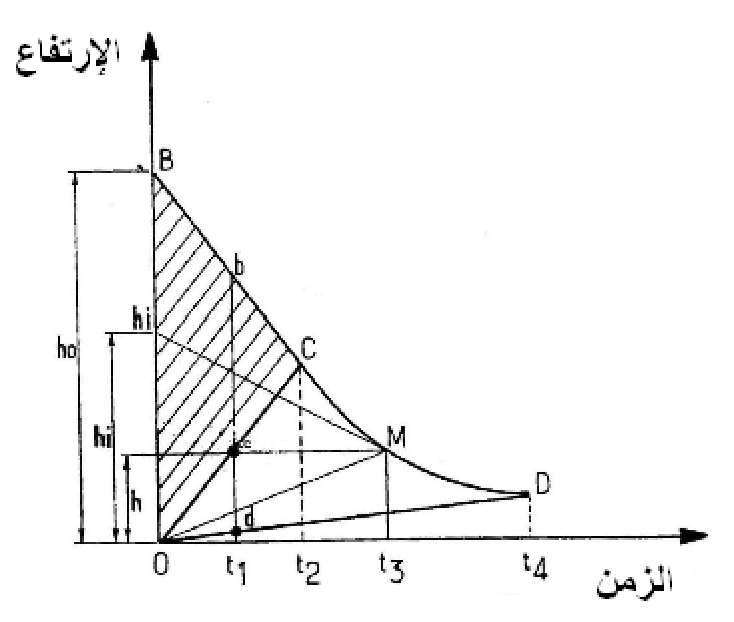
المرحلة الثانية: تمتد من B إلى C ، وتمثل المستقيم الواصل بينهما، أي أن سرعة الهبوط ثابتة، ويرمز لها بالرمز (V_0).

المرحلة الثالثة: وتمثل المنحني البياني بين النقطتين C و D، وتتميز بتناقص سرعة الهبوط للسطح الفاصل العلوي للطور المترسب نتيجة قوى الكبح.

المرحلة الرابعة: تبدأ عند النقطة D، ويحدث فيها عملية تلامس الكتل مع بعضها بعضا مباشرة، وتمارس الطبقات العليا عملية ضغط على الطبقات الدنيا.

إن نظرية كنش تطبق على المرحلتين الثانية والثالثة فقط، لكونهما يشكلان الجزء الأساسي من عملية الترسيب المكبوح.

لنفترض أن المعلق المدروس لا يتمتع بعملية تلاحم أولية، أي غياب المرحلة الأولى، عند ذلك يصبح المنحني البياني السابق (الشكل 4 – 6) على الهيئة الواردة في الشكل (4 – 7).



الشكل 4 – 7: الترسب المكبوح بالمرحلتين الأساسيتين{33}.

اعتمادا على المعطيات الواردة بالشكل (4 – 7) يمكن استخلاص الآتي:

1- المثلث (COB) يمثل مرحلة السقوط المتميزة بتركيز ثابت وبسرعة ثابتة وكلاهما مساويتان للقيم الأساسية في النقطة B.

2 – المثلث (DCO) يمثل المرحلة الثانية ذات السرعة المتناقصة للترسب، والتي تتساوى فيها التراكيز على المستويات المحددة بالمستقيمات المارة من المركز والملتقية مع المنحني البياني (OC , OM, OD)، نلاحظ أن عملية التلامس بين الطبقات الدنيا وأسفل الحوض تحدث في بداية المرحلة.

لندرس الطور العمودي المترسب ذا الارتفاع (t_1b) والمتضمن ثلاث مناطق مختلفة هي:

- المنطقة الأولى (cb) يكون فيها التركيز وسرعة السقوط ثابتين ومساويين إلى القيم الأساسية التي يرمز لها بالرمز (C_0 , V_0).
- المنطقة الثانية الانتقالية (dc)، و يزداد فيها التركيز من الأعلى(c) إلى الأسفل (d).

- المنطقة الثالثة (t_1d)، وتمثل منطقة التلامس للكتل المترسبة وخضوعها لعملية ضغط نتيجة ذلك التلامس.

من أجل حساب التركيز في النقطة M الواقعة بين C و D على المنحني البياني، فإننا نرسم المماس للمنحني البياني في النقطة M والذي يتقاطع مع محور الارتفاع في النقطة Hi التي تبعد عن قعر الحوض بالمسافة hi. إن التركيز في النقطة M يعطى بالعلاقة:

$$Ci = C_0 \; (h_0 / hi)$$

حيث (Ci) التركيز في النقطة M، و (C_0) التركيز الأساسي، و (h_0) الارتفاع الأولي للطور المترسب.

وكذلك فإن سرعة الهبوط تساوي إلى ميل المستقيم Hi M وتعطى بالعلاقة:

$$Vi = dh / dt$$

- دليل موهلمان ودليل دونالدسون (Indice MOHLMAN. Indice DONALDSON):

يُلاحظ على المنحني البياني لكنش نقطة خاصة تستعمل عادة في تصنيف الأوحال المترسبة. تلك النقطة توافق الحجم المترسب عند زمن قدره (30) دقيقة. يمثل دليل موهلمان الحجم الذي يحتله غرام واحد من الأوحال في تلك اللحظة أي:

$$I_M = V / M$$

أما دليل دونالدسون فإنه يعطى بالعلاقة:

$$I_D = 100 \, M / V$$

وبالتالي فإن:

$$I_D \, I_M = 100$$

إن الدليلين السابقين لا يرتبطان بالثوابت الفيزيائية المعروفة، ولكن يستعملان عادة لسهولة قياسهما وكأساس للمقارنة بين الأوحال المنشطة والمستعملة في محطات معالجة مياه الصرف.

4. 2. 3 التعويم Flotation:

تحدث عملية التعويم في الظروف التي تكون فيها الكتلة الحجمية للمادة المعلقة أقل من الكتلة الحجمية للوسط السائل المحيط بها، ويمكن إحداث حالات تعويم تحريضي في جمل تكون الكتلة الحجمية للسائل أقل من الكتلة الحجمية للمواد المعلقة، ويتم ذلك بربط الدقائق المعلقة (سائل أو صلب) بفقاعات غازية (الهواء) لتكوين مجموعة متكاملة (غاز – جسم معلق) كثافتها أقل من كثافة الوسط السائل المحيط بها. إن محصلة القوى المؤثرة في تلك المجموعة المتكاملة (قوة الجاذبية الأرضية، قوة دفع أرخميدس، وقوى المقاومة للحركة) تؤدي إلى تحرك المجموعة باتجاه الأعلى، حيث تتجمع على سطح السائل ومن ثم تزال بالطرائق الميكانيكية، أما شرط حدوث التعويم المحرض فإنه يعتمد على أن تكون قابلية التلاحم بين الدقائق المعلقة والغاز أقوى من

قوى التبلل بين الدقائق المعلقة والسائل المحيط بها. تحسب سرعة صعود المجموعة المتشكلة (دقيقة معلقة – فقاعة غازية) استنادا إلى علاقة نيوتن:

$$V^{2-n} = \frac{4\,L^{1+n} \, . \, g\,(ds - de)}{3\,C \, . \, de}$$

حيث: L القطر الكلي للمجموعة، ds الكتلة الحجمية للمجموعة، de الكتلة الحجمية للسائل، g قيمة الجاذبية الأرضية (981 سم / ثا^2)، C قيمة معامل الكبح للحركة والمرتبط بمعامل رينولدز (Reynolds)، n ثابت رينولدز.

واعتمادا" على معامل رينولدز Re يمكن كتابة العلاقة السابقة وفق الآتي:

$$V = \frac{L^2 \, . \, g\,(ds - de)}{18\,\eta}$$

وهي ما تعرف بعلاقة ستوكس (STOKES).

أما حجم الهواء اللازم للتعويم فإنه يعطى بالعلاقة:

$$\frac{Vg}{S} = \frac{dp - de}{(de - dg)dp}$$

حيث : Vg حجم الغاز اللازم لإجراء عملية التعويم، S كتلة الدقيقة المراد تعويمها، dg الكتلة الحجمية للغاز، dp الكتلة الحجمية للدقيقة المحمولة، de الكتلة الحجمية للسائل.

4. 2. 4 الترشيح Filtration:

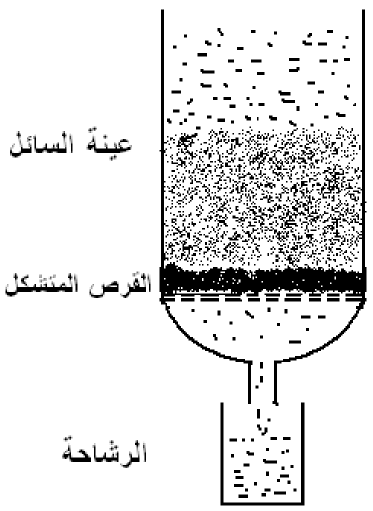
تجري عملية الترشيح عبر مرور سائل محمل بمواد صلبة على وسط مسامي (مرشح)، حيث يقوم ذلك الوسط بحجز المواد الصلبة والسماح للسائل (الرشاحة) بالعبور، إذا كانت المواد المعلقة في السائل تتمتع بأبعاد أكبر من أبعاد الثقوب أو المسام، فإنها تحتجز على سطح المرشح، ويسمى عندئذ بالترشيح السطحي أو الترشيح على حامل. أما في الحالة المعاكسة، فإن المواد تحتجز في داخل المرشح، ويسمى بالترشيح الحجمي أو الترشيح العمقي (ترشيح على طبقة رملية). وفي كلا الحالتين فإن قانون دارسي (DARCY) المتعلق بسيلان السوائل في الأوساط المسامية قابل للتطبيق.

ينص قانون دارسي على أن الضغط الخلفي (Perte de Charge) متناسب مع سرعة الترشيح V (التدفق بواحدة السطوح). أما معامل التماس K فإنه متعلق باللزوجة الديناميكية وبمقاومة الوسط R .

(1) $$V = P / \eta R = K . P$$

آ) الترشيح السطحي:

لنفترض أن الترشيح يجري على حامل (مرشح) لسائل يحتوي معلقا" أو راسبا" حيث يكوّن هذا الأخير قرصا" ذا سماكة متزايدة من المواد الصلبة على سطح الحامل (الشكل 4– 8).



الشكل 4 – 8: الترشيح السطحي.

إن المقاومة R في قانون دارسي تتضمن نوعين من المقاومة، أولهما Rg وهي مقاومة القرص المترسب، والثانية Rm مقاومة الغشاء المرشح البدائية، إذا" فإن R الكلية تساوي مجموع المقاومتين معا:

(2) $$R = R_g + R_m$$

مع العلم أنه يمكن حساب قيمة Rg من العلاقة:

(3) $$R_g = r . M / S = r . w . v / S$$

حيث: M الكتلة الكلية للقرص المتوضع، S سطح المرشح، v حجم الرشاحة في الزمن t، w الكتلة المتوضعة من أجل واحدة الحجم من الرشاحة، r المقاومة النوعية لترشيح القرص تحت الضغط P.

وبالتالي فإن سرعة الترشيح تعطى بالعلاقة:

$$(4) \qquad V = \frac{1}{S}\,\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\eta\left(r\ W\ V / S + Rm\right)}$$

إن تكامل العلاقة السابقة يقود إلى علاقة من النوع الآتي:

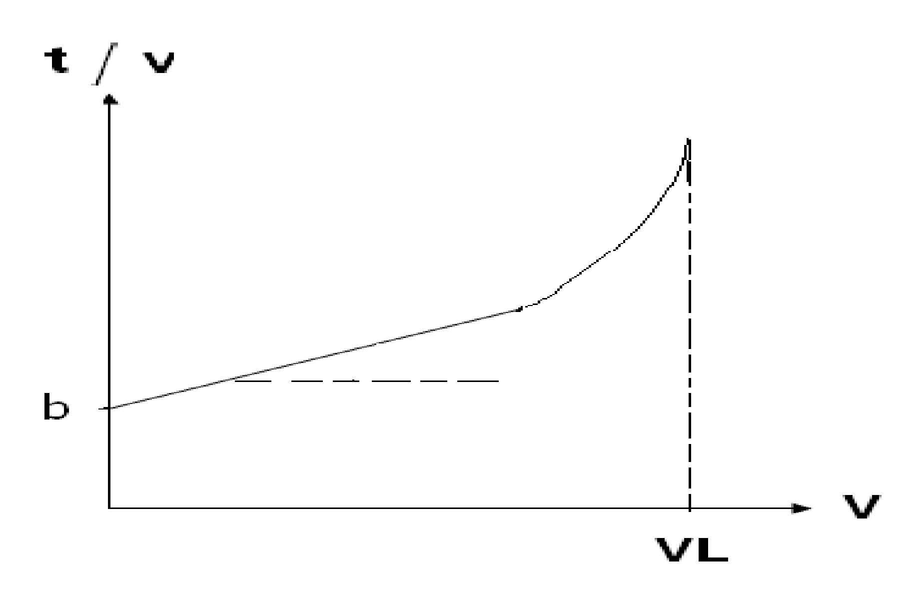
$$(5) \quad t = a\,.\,v2 + b\,.\,v \qquad \rightarrow \qquad t / v = a\,.\,v + b$$

مع العلم أن قيم الثابتين (a , b) تعطى بالعلاقتين الآتيتين:

$$(6) \qquad a = \eta.\ r\ .\ w / 2\,P\,S^2$$

$$(7) \qquad b = \eta.\ Rm / P.\,S$$

المنحني البياني للقيمة (t / v) بدلالة (v) يسمح بحساب قيمة (a) من ميل المستقيم (الشكل 4 – 9) وبالتالي قيمة (r) من العلاقة الرابطة بينهما .



الشكل 4 – 9: (t / v) بدلالة (v) في الترشيح السطحي.

إن التكامل السابق جرى مع الأخذ بالحسبان أن المقاومة النوعية للمرشح (r) ثابتة، وهذا غير صحيح إلا في حالة الأوحال غير القابلة للضغط.

يلاحظ أن استقامة المنحني البياني تنعدم بعد ترشيح كمية معينة، ويبدأ بالانحناء وهذا يعني بداية تجفيف الراسب ويستمر ذلك حتى الوصول إلى حد الجفاف للشريحة المترسبة.

إن قيمة (r) تزداد مع زيادة الضغط وتخضع تلك الزيادة للعلاقة الآتية:

$$(8) \quad r = r_o + r^{`} . P^s$$

حيث تعبر (r_o) عن المقاومة النوعية للترشيح عند الضغط المساوي للصفر، بينما (r`) تعبر عن المقاومة النوعية للترشيح عند الضغط واحد بار التي يمكن أن تسمى أيضا معامل الانضغاطية للوحل وليس لها واحدات. بينما (r) تسمى معامل الترشيح أو المقاومة النوعية وواحداتها هي (متر / كيلوغرام).

ب) الترشيح على حامل سميك (صفيحة سميكة):

إن الترشيح على حامل سميك يتضمن ظاهرتي الترشيح السطحية والداخلية معا"، أي أن قسما" من الراسب يمر عبر المرشح ليستقر بداخله ضمن المسام والفوهات، بينما يشكل القسم الآخر طبقة على سطح المرشح.

من أجل تحديد نوعية الترشيح (غشائي أو عمقي) فإننا نعين قيمة المعامل(ε) المعطى بالعلاقة الآتية:

$$(9) \qquad \varepsilon = \frac{18\ P}{Rm \cdot L^2\ (S - e)}$$

حيث إن: P تمثل الضغط الخلفي الناتج عن عملية مرور السائل عبر المرشح، Rm المقاومة الأولية للمرشح، L أبعاد الدقائق المعلقة، S سطح المرشح، e سماكة المرشح.

إذا كانت قيمة المعامل(ε) أصغر من 100 فإن الترشيح يكون من النوع الغشائي أو السطحي. أما إذا كانت قيمة (ε) أكبر من 1000 فإن الترشيح من النوع العمقي، وما يقع بين تلك القيمتين يكون مزيجا من النوعين أو ما يسمى ترشيح على حامل سميك.

ج) ترشيح عمقي :

الترشيح العمقي من أهم أنواع الترشيح المستخدمة في محطات تنقية المياه وذلك باستعمال عمود من الرمل، هناك ثلاث علاقات رياضية أساسية تعالج هذا النوع من المرشحات وهي:

1. علاقة إزون (ISON):

$$(10) \quad C.\ F = dC / dL$$

حيث: C تركيز المعلق المراد ترشيحه، و F معامل الترشيح، و dL المسافة الفاصلة بين مقطع معين من المرشح وسطح المرشح، و dC فرق التركيز بين المقطع والسطح.

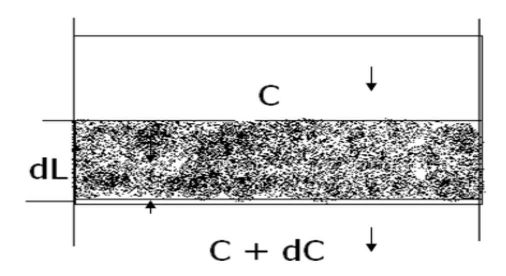
2. علاقة دارسي (DARCY):

$$(11) \quad V.\ K = dP / dL$$

حيث: K معامل دارسي، و P الضغط الخلفي.

3. علاقة موازنة المواد:

إذا افترضنا أن جزءا" من طبقة الترشيح سمكها (dL) ومقطعها (S)، وأن تركيز المعلقات عند دخول السائل تلك الطبقة هو (C) وتركيزها عند خروجها من تلك الطبقة (C + dC)، كما هو موضح بالشكل (4 – 10).



الشكل 4 – 10: طبقة مرشحة.

لتكن كمية المواد المعلقة المحتجزة في وحدة الحجم من طبقة المرشح هي (q)، يمكن إذا صوغ علاقة موازنة المواد وفق الآتي:

$$(12) \quad S.\ V.\ dt.\ C = S\, V\, dt\, (C + dC) + D\, dL\, dq$$

والتي تصبح على الشكل التالي:

$$(13) \qquad -\left(\frac{dC}{dL} \right) = \left(\frac{1}{V} \right) \left(\frac{dq}{dt} \right)$$

العلاقتان (10 و 11) تسمحان بتحديد توسخ المرشح وتركيز المواد المعلقة في المياه المرشحة. أما العلاقة (11) فإنها تعطي الضغط الخلفي.

توجد صعوبة تتمثل بكون المعاملين (F و K) متعلقين بقيمة توسخ المرشح، مما يستدعي الأخذ في الحسبان تحول قيمتهما في أثناء الترشيح الذي يرتبط بقيمة توسخ المرشح.

- **توسخ المرشح:**

يتحول معامل الترشيح (F) بين قيمته الأساسية عند بداية الترشيح (F_o) وبين الصفر في لحظة معينة من الترشيح، وقد افترض أن التحول خطي ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$(14) \qquad F = F_o \left(1 - q / q_1 \right)$$

حيث ترمز (q) إلى التوسخ، وبتعبير آخر إلى الكمية المترسبة ضمن الطبقة المرشحة بواحدة الحجم، و(q_1) إلى التوسخ الأعظمي.

إن تكامل المعادلتين (10 و 13) يعطينا المعادلة التالية:

$$(15) \qquad \frac{q}{q_1} = \frac{1 - e^{-A \cdot t}}{1 + e^{-A \cdot t}\left(e^{Fo \cdot L} - 1 \right)}$$

علما أن قيمة الثابت (A) هي:

$$A = \frac{Fo \cdot V \cdot Co}{q_1}$$

- **نقاوة الرشاحة:**

إذا كانت L تمثل سمك الطبقة المرشحة بكاملها فإن:

$$(16) \qquad C_L = \frac{Co}{1 + e^{-A \cdot t}\left(e^{Fo \cdot L} - 1 \right)}$$

تسمح هذه العلاقة بتحديد الزمن (t) اللازم للحصول على رشاحة ذات تركيز محدد قيمته (C_L). مع العلم أن العوامل الأخرى (A، F_0، C_0،....،.) يمكن حسابها من العلاقات السابقة.

- **الضغط الخلفي (Perte de Charge):**

إن تحول معامل دارسي (K) افتراضيا" يُعطى بالعلاقة الآتية:

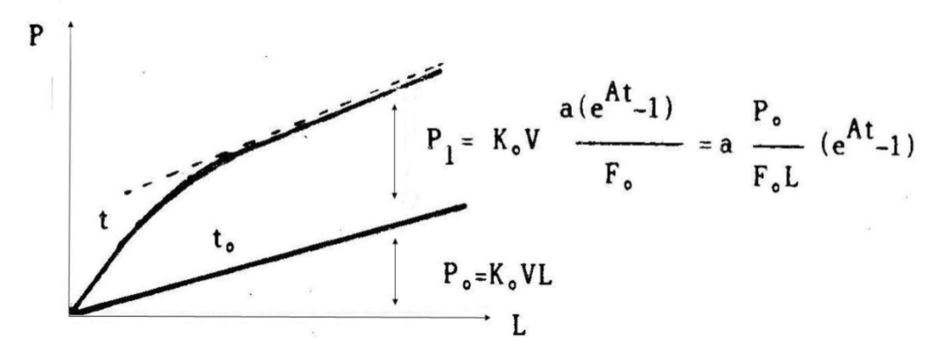
$$(17) \qquad \frac{K}{Ko} = \frac{1 + q / q_1 \; (a - 1)}{1 - q / q_1}$$

وبالتالي فإن علاقة دارسي (العلاقة 11) بعد عملية التكامل، تصبح على الشكل التالي:

$$(18) \qquad P = Ko \cdot V \left[L + \frac{a \left(e^{A\,t} - 1 \right)}{Fo} \left(1 - e^{-Fo\,L} \right) \right]$$

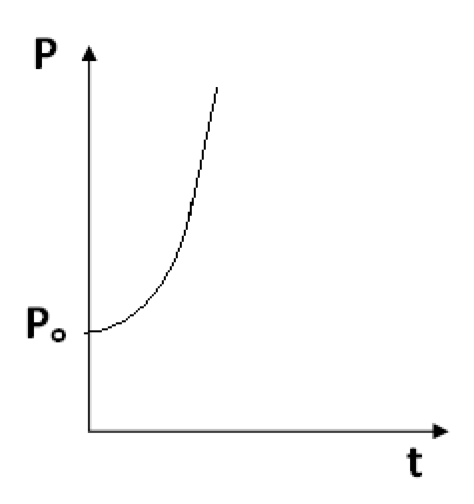
تسمح العلاقة الأخيرة (18) بدراسة منحنيات التوسخ ومنحنيات الضغط الخلفي، ويمكن حساب الزمن اللازم لتصل قيمة الضغط الخلفي إلى القيمة العظمى (P_{max}).

المنحني البياني في الشكل (4 – 11) يعطي مثالا على علاقة (P) مع (L) من أجل الزمن (t_0) والزمن (t).



الشكل 4 – 11: الضغط الخلفي بدلالة سمك المرشح في الزمن (t_0) والزمن (t).

بينما يعطي الشكل (4 – 12) الضغط الخلفي بدلالة الزمن.



الشكل 4 – 12: الضغط الخلفي بدلالة الزمن.

من جهة أخرى فإن نوعية المياه المرشحة تمثل بمنحنٍ بياني لدرجة التعكر بدلالة زمن الترشيح، ويوضح الشكل (4 – 13) جودة المياه المرشحة خلال دورة كاملة من عمل المرشح. نلاحظ أن التعكر (Turbidité) يتناقص في المرحلة الأولى ثم يستقر خلال فترة معينة قبل أن يبدأ بالزيادة من جديد حتى يصل إلى القيمة المسموح بها حيث يتم إيقاف عملية الترشيح. عادة هناك زمنان

أساسيان في عمل المرشح، هما الزمن الموافق لفترة عمل المرشح وإعطاء المياه المرشحة ضمن المواصفات المطلوبة (t_1)، والزمن الموافق للوصول إلى الضغط الخلفي الأعظمي (t_2). يتأثر الزمنان السابقان بعدة عوامل أهمها:

1 – نوعية وكمية المواد المعلقة.

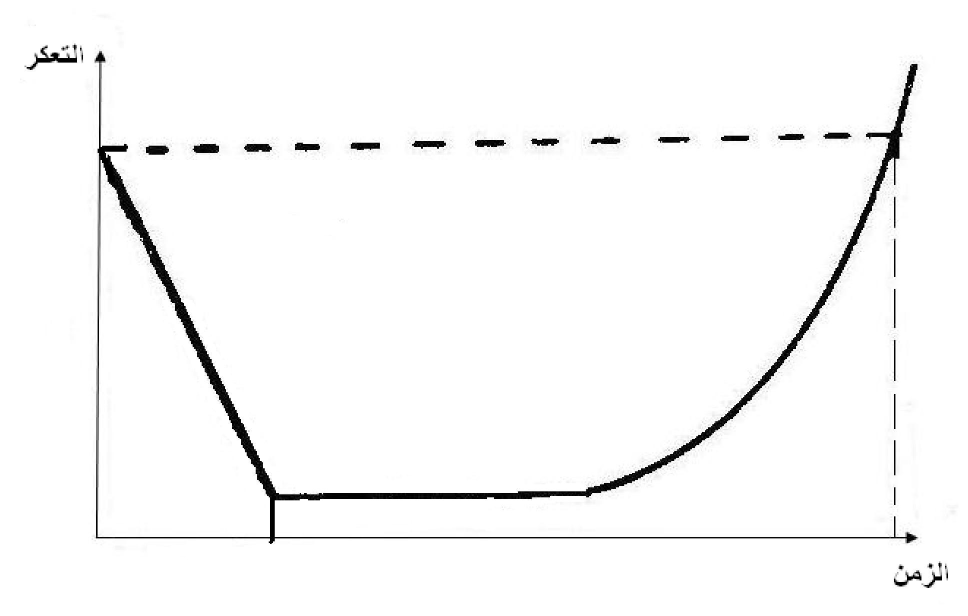
2 – شكل وأحجام المواد المستعملة في صناعة المرشح.

3 – سرعة الترشيح.

4 – ارتفاع طبقة المرشح.

5 – درجة نقاوة الرشاحة.

عموما"، فإن المرشح المثالي هو الذي يتساوى فيه الزمن (t_1) مع (t_2). ولكن من الناحية العملية غير ممكن.



الشكل 4 – 13: التعكر بدلالة الزمن.

4. 3 إزالة المواد المنحلة في الماء:

4. 3. 1 الفصل باستعمال الأغشية:

آ) الأغشية نصف النفوذة:

إن طرائق فصل المواد باستعمال الأغشية تحت تأثير الضغط معروفة منذ مئة عام تقريبا"، لكن استثمارها صناعيا" لم يبدأ إلا في عام 1960 عندما تم تطوير الأغشية الصناعية.

إن المقصود بالأغشية نصف النفوذة، الأغشية التي ينفذ منها المحل (الماء) وبعض المواد المنحلة، بينما تحجز خلفها القسم الآخر من المواد المنحلة والدقائق المعلقة. لذلك يمكن اعتبار طرائق الفصل بالأغشية نصف النفوذة استمرارا" لعملية الترشيح، حيث يتم فصل المواد بشكل أكثر دقة.

بعد إجراء عملية ترشيح عادية على طبقة من الرمال التي تزيل الدقائق المعلقة ذات الأبعاد المساوية لعدد من الميكرونات، يمكن تطبيق الطرائق الأخرى للفصل للحصول على نوعية نقية جدا" من المياه وذلك لبعض الاستعمالات الصناعية المعينة، وأهم تلك الطرائق:

- ترشيح دقيق (Microfiltration):

يفصل هذا النوع من الترشيح الجسيمات ذات الأبعاد المساوية للميكرون الواحد. وتجرى على مرشحات غشائية من نوع الميلي بور (Millipore).

- ترشيح فائق (Ultrafiltration):

إن هذا النوع من المرشحات قادر على منع مرور الجزيئات الكبيرة والمتمتعة بوزن جزيئي أعلى من عشرة ألاف.

- التناضح العكسي (Osmose Inverse):

يسمى هذا النوع أيضا" بالترشيح المفرط (Hyperfiltration) وهو قادر على حجز الشوارد والجزيئات الصغيرة الوزن.

هناك فرقان جوهريان بين الترشيح باستعمال الرمال أو الصفائح المسامية من جهة، وبين الترشيح باستعمال أغشية التناضح العكسي من جهة أخرى، وهما:

<u>الفرق الأول</u>: الترشيح على الرمال لا يؤدي إلى أي تبدل في المواصفات الكيميائية للمحلول، بينما الترشيح باستعمال أغشية التناضح العكسي يقود إلى تغيير في الكمون الكيميائي مولدا فرقا" كبيرا" في الكمون قادرا" على إحداث حالة الانتشار المعاكس، وبالتالي فإن إيقاف عملية الانتشار للوصول إلى حالة التوازن يتطلب إحداث ضغط معين فوق المرشح، يسمى فرق الضغط المطبق في حالة التوازن بالضغط التناضحي للجملة (Pression Osmotique)، ومن الأفضل جعل قيمة معامل الاستقطاب صغيرة، ويتم ذلك بتنظيف سطح الغشاء بين الحين والآخر، للتخلص من الجزيئات الملتصقة به.

إن العلاقة التي تربط بين الضغط التناضحي والتركيز هي:

$$\Delta \pi = C.\ R.\ T$$

حيث : C فرق التركيز مقدرا بالمول في المتر المكعب، وR ثابت الغازات، وT درجة الحرارة المطلقة، و $\Delta \pi$ الضغط التناضحي.

الفرق الثاني: يتمثل بتجمع الدقائق غير المنحلة على السطح في حالة الترشيح الرملي أو على صفائح، أما في حالة الأغشية فإن الجزيئات والشوارد المنحلة تتجمع على سطح الغشاء إضافة إلى المواد المعلقة، مما يولد ظاهرة استقطاب مرفقة بزيادة الضغط التناضحي وفي بعض الأحيان تظهر أيضا ظاهرة الترسب على سطح الغشاء. يمكن التخلص من تلك السلبيات باستعمال ضغط أعلى من الضغط النظري، وبناءً عليه، فإن الضغط المستعمل في حالة الترشيح الفائق يتراوح بين 2 إلى 6 بار، أما في حالة التناضحية فإنه يقع بين 20 و 80 بار.

بعكس الترشيح على صفيحة مسامية فإنه لا يوجد أية نظرية متكاملة للترشيح على الأغشية (ترشيح فائق والتناضحية العكوسة). ولكن هناك عدد من النماذج الرياضية والفيزيائية المفترضة، نذكر أهمها:

1. حالة التناضحية العكوسة:

يعدّ الغشاء المستعمل في التناضح العكسي حاجزا" غير مسامي تنحل ضمنه الجزيئات المكونة للمحل وللمادة المنحلة، وينشرها من جديد اعتمادا" على ظاهرة تدرج التركيز وعلى فرق الضغط المطبق على وجهي الغشاء، مما يؤدي إلى تغير في الكمون الكيميائي للمحلول داخل الغشاء.

تعطي العلاقتان الرياضيتان الآتيتان تدفق الماء (Qe) وتدفق المادة المنحلة (Qs) عبر الغشاء:

$$Qe = A \frac{\Delta P - \Delta \pi}{e} \quad , \quad Qs = B \frac{Cm - Cp}{e}$$

حيث إن: (A) ثابت نفاذية الغشاء للماء، (ΔP) فرق الضغط بين وجهي الغشاء.

($\Delta \pi$) الضغط التناضحي، (e) سمك الغشاء، (B) ثابت نفاذية الغشاء للمادة المنحلة،

(Cm) تركيز المادة داخل الغشاء، (Cp) تركيز المادة على سطح الغشاء.

2. حالة الترشيح الفائق:

يجري الترشيح الفائق ضمن نظام مسامي يمنع الجزيئات ذات المقطع الأكبر من قطر المسام من المرور عبره. ويتعلق تركيز المادة المنحلة في الرشاحة بالتدفق عبر المسام وبتركيز السائل الملامس للغشاء (Cm) والذي بدوره متعلق بتركيز السائل المراد ترشيحه بشكل عام (Ce):

$$Cm = f \; Ce$$

حيث تمثل f معامل الاستقطاب.

ب) أغشية الميز (Membrane de Dialyse):

إن أغشية الميز لا تسمح للماء بالمرور عبرها وذلك بعكس الأغشية نصف النفوذة، بينما تسمح للشوارد بالمرور وذلك تحت تأثير فرق الكمون الكيميائي للمحاليل الملامسة لوجهي الغشاء. إن هذا الفرق في الكمون الكيميائي ينتج عن:

1) فرق في التركيز وعند ذلك يسمى الميز البسيط (Dialyse simple).
2) فرق في الضغط وفي هذه الحالة يسمى الميز الضغطي (Piezodialyse).
3) فرق في الكمون الكهربائي ويدعى الميز الكهربائي (Électrodialyse).

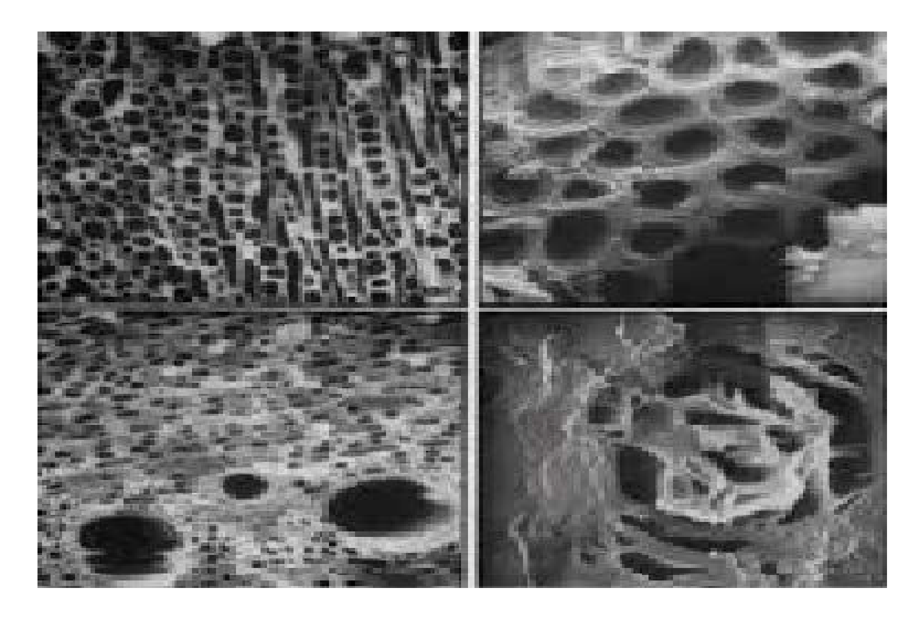
تعتبر أغشية الميز انتقائية (Sélectives) ولذلك فإن ظاهرتي التركيز والاستقطاب مهمتان جدا" وتؤديان إلى معارضة الانتقال المطلوب، وبالتالي فإن عملية غسيل مستمرة للغشاء تكون ضرورية جدا".

4. 3. 2 الامتزاز (Adsorption):

يعرف الامتزاز بأنه عملية تثبيت جزيئات أو جذور أو شوارد على سطح جسم ما، يسمى بالجسم الماز (Adsorbant)، حيث يقوم بعمله في وسط غازي أو وسط سائل. الظاهرة إذا" تتعلق بسطح الجسم الماز حيث ترتبط الجزيئات الممتزة (Adsorbé) به بقوى فيزيائية أو كيميائية مختلفة مثل قوى فاندرفالس، والروابط الهيدروجينية، والقوى الكهربائية الساكنة وغيرها، و بحسب طبيعة العناصر المشاركة بهذه الظاهرة.

إن عملية الانتقال من الوسط السائل أو الوسط الغازي إلى الجسم الصلب تترافق مع ظاهرة انتقال الكتلة، ولذلك فإن الامتزاز، كما هو بالنسبة لكافة الظواهر المتلازمة مع انتقال الكتلة، يتعلق بعدة عوامل أهمها:

1) مساحة السطح: الأجسام المازة الطبيعية كالغضار والبيكوليت تملك سطوحا" ذات مساحات قليلة (200 م^2 / غ). ولذلك فإن امتزازها ضعيفٌ. أما الأجسام المازة المصنعة فتتمتع بسطوح أعلى من (300 م^2 / غ)، علما أنه قد تم تحضير أنواع من الفحم المنشط ذات سطوح فعالة بحدود (1500 م^2 / غ) في مجال معالجة المياه، بينما هناك أنواع من الفحم المنشط يصل السطح الفعال إلى (5000 م^2 / غ) تستخدم في مجال امتزاز الغازات. إن الحصول على هذه السطوح الفعالة ينتج عن وجود شقوق و أخاديد دقيقة جدا" ضمن بنية الفحم المنشط كما يظهر في الشكل (4 – 14).



الشكل 4 – 14: بنية الفحم المنشط تظهر عليها الأخاديد و المسام الكبيرة والمسام الصغيرة جدا".

2) تركيز المواد المنحلة: إن سعة الامتزاز تتعلق على نحو كبير بتركيز المواد المنحلة المراد امتزازها، حيث تحدث عملية توازن بين تركيز تلك المواد في المحلول، وكمية المواد الممتزة على واحدة السطوح (أو واحدة الكتلة) للجسم الماز.

يعبر عن ذلك التوازن بقانون فرندليش (FREUNDLICHE):

$$X / m = K. C^{1/n}$$

حيث ترمز(X) إلى كمية المادة الممتزة و(m) إلى كتلة الجسم الماز و(C) إلى تركيز المادة في المحلول التي امتز جزء منها في وضعية التوازن، و(K , n) هي ثوابت متعلقة بدرجة حرارة الامتزاز.

يمكن الحصول على الثابتين (K , n) برسم المنحني البياني للقيمة (log x/m) بدلالة (log. C)، حيث يمثل الميل على ذلك المنحني القيمة (1 / n)، ونقطة التقاطع مع المحور العمودي تساوي قيمة الثابت (log K).

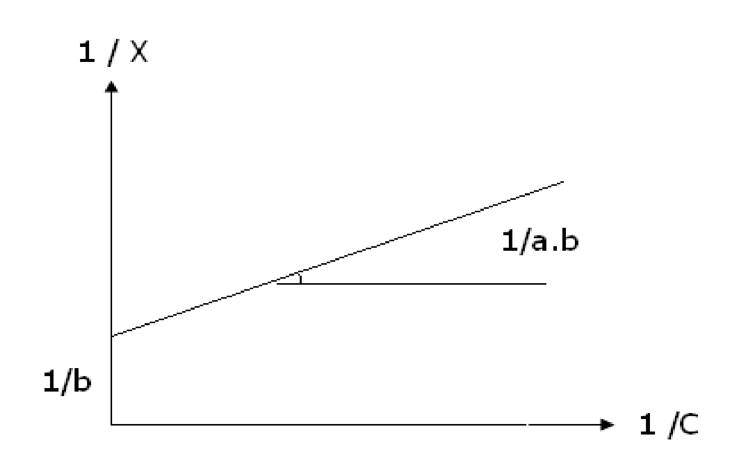
إضافة إلى علاقة فرندليش، فإنه بالإمكان استعمال علاقة متساوي الدرجة للانغموير (Isotherme d'Adsorption LANGMUIR) والتي وضعت أصلا قبل معادلة فرندليش بفترة طويلة. وفيما يلي علاقة لانغموير:

$$x = \frac{a.\ b\ .\ C}{1 + a.\ C}$$

حيث ترمز (X) إلى كمية المادة الممتزة على سطح الجسم الماز و(C) إلى تركيز المادة في المحلول التي امتز جزء منها في وضعية التوازن و(a) معامل الامتزاز و(b) يمثل المقدار الأعظمي للامتزاز، وتعدَ القيمتان (a , b) ثابتتين من أجل الجملة نفسها.
من الممكن كتابة علاقة لانغموير السابقة وفق الآتي:

$$1 / X = 1 / b + (1 / a.\ b)(1 / C)$$

وبالتالي يمكن حساب (a) و (b) من رسم المنحني البياني (1 / X) بدلالة (1 / C)، كما هو موضح بالشكل (4 – 15).



الشكل 4 – 15: المنحني البياني الممثل لمعادلة لانغموير.

3) **المواصفات العامة لحركة السائل (Hydrodynamique)**: إن المقصود هنا تلك المواصفات المتعلقة بالتبادل وبالسرعة النسبية للطورين، ولاسيما بزمن التلامس بين الطورين (سائل – صلب) أو (غاز – صلب).
4) **طاقة الروابط:** أي الألفة بين السطح الماز و المركبات الموجودة في الوسط المائع. هذه الألفة (Affinité) ترتبط على نحو كبير بقيمة pH الوسط.

إن ميكانيكية الامتزاز في الوسط المائي غير معروفة بدقة، وهناك العديد من الفرضيات. وإذا استعرضنا النوعين الأساسيين للامتزاز، لرأينا أن الامتزاز الفيزيائي هو الأكثر احتمالا" ضمن

شروط العمل في مجال تنقية المياه. يتميز الامتزاز الفيزيائي بطاقة امتزاز ضعيفة ويحدث في درجات حرارة منخفضة، ويصل إلى حالة التوازن العكوس بسرعة. أما الامتزاز الكيميائي فإنه يتميز بطاقة امتزاز عالية ويحدث في درجات حرارة مرتفعة، مع تكوين روابط كيميائية بين المادة الممتزة والجسم الماز. وبالتالي فإن مشاركة هذا الأخير في أثناء عمليات الامتزاز المطبقة في مجال المياه تكون ضعيفة.

من أهم المواد المازة المستخدمة في معالجة المياه الفحم المنشط، وإن كانت هناك دراسات حديثة نوعا ما لإدخال الألومين ومواد أخرى، في مجال معالجة المياه.

4. 3. 3 التلامس مع المبادلات الشاردية:

المبادلات الشاردية هي أجسام حُبيبية غير ذوابة بالماء ولا في العديد من المحلات العضوية، وتحمل في بنيتها جذورا" حمضية أو قاعدية قابلة للتبادل مع الشوارد الموجبة أو السالبة، دون حدوث تغيير ظاهري في صفاتها الفيزيائية. إن هذا التبادل الشاردي يؤدي إلى تغير في تركيب الشوارد للجملة الملامسة للمبادل الشاردي، مع بقاء العدد الكلي للمكافئات الشاردية دون تغيير.

كان أول مبادل شاردي هو الغضار المكون من ألومينو – سيليكات ذات البنية البلورية المسامية. ثم أمكن تصنيع الألومينو – سيليكات ذات السعة الكبيرة للتبادل الشاردي والمعروفة باسم الزيوليت المصنع. وأخيرا" تم تصنيع البوليميرات العضوية الأكثر قابلية للتبادل (سالبي أو موجبي).

تعرف سعة المبادل الشاردي بعدد المكافئات الغرامية التي تجري مبادلتها على كيلو غرام واحد أو لتر واحد من المبادل. هذه السعة محدودة بعدد الوظائف أو المراكز النشيطة (Sites Actifs) الموجودة في واحدة الكتلة من المبادل، أما الألفة التبادلية فإنها بشكل عام تزداد بازدياد حجم وشحنة الشوارد، فمن أجل اللدائن العضوية (Résines) الشديدة الحموضة يمكن وضع التصنيف التالي للألفة:

$$\mathbf{Fe^{+3} > Sr^{+2} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > NH_4^{+} > K^{+} > Na^{+} > H^{+}}$$

وبالطريقة نفسها للمبادلات القاعدية القوية:

$$\mathbf{SO_4^{-2} > NO_3^{-} > Cl^{-} > HCO_3^{-} > OH^{-}}$$

وقد يكون هناك شذوذ عن التصنيف، نتيجة تصنيع مبادلات نوعية لشوارد محددة، وقد تطور هذا المحور في مجال استعمال المبادلات في التحليل الكيميائي، وكذلك في البحث عن طرائق لإزالة شوارد ضارة من المياه ونذكر على سبيل المثال شوارد النترات.

تتناسب سعة المبادل من أجل شاردة معينة مع تركيز تلك الشاردة في الوسط السائل المحيط بالمبادل، فإذا وضع المبادل الشاردي في وسط ذي تركيز عالٍ من شوارد الصوديوم، فإن تلك الشوارد تطرد الشوارد المثبتة على المبادل على الرغم من أنها أقل ألفة منها (الكالسيوم على سبيل المثال) وذلك اعتمادا على مبدأ التركيز وليس الألفة، وهذه الخاصية تستعمل لتجديد المبادلات الشاردية، ولكن إذا وضعت تلك المبادلات المجددة في وسط من شوارد الكالسيوم مثلا، فإن تلك الأخيرة تطرد شوارد الصوديوم من المبادل وتحل محلها اعتمادا على مبدأ الألفة.

آ) تصنيف المبادلات الشاردية:

1 – المبادلات الشاردية الموجبة (Échangeurs Cationiques):

تقسم المبادلات الشاردية الموجبة إلى قسمين هما:

- الشديدة الحموضة: تكون المراكز الفعالة لهذا النوع مكونة من شاردة الهيدروجين الضعيفة الارتباط والتي يمكن استبدالها بأي شاردة موجبة أخرى في المحلول تبعا لمبدأ الألفة:

$$R - H \quad + \quad Na^{+} \rightleftharpoons R - Na \quad + \quad H^{+}$$

وتحضر هذه المبادلات بإجراء عملية سلفنة على اللدائن العضوية وإدخال الجذر ($-SO_3H$) على بعض النوى العطرية في بنية اللدائن (الشكل 4 – 16).

Polystyréne réticulé $\xrightarrow{H_2SO_4}$

CH CH₂ CH CH₂ CH — SO₃H SO₃H SO₃H — CH CH₂ CH CH₂ CH CH₂ CH — SO₃H SO₃H SO₃H

الشكل 4 – 16: سلفنة اللدائن العضوية

يجري تجديد المبادل الشاردي الشديد الحموضة باستعمال حمض كلور الماء، أما إذا جدد باستعمال كلور الصوديوم فإنه يأخذ الشكل الصودي ويستعمل في هذه الحالة لإزالة قساوة المياه كما هو موضح بالمعادلة:

$$2\ R - Na + Ca^{+2} \rightleftharpoons R_2 - Ca + 2\ Na^{+}$$

- الضعيفة الحموضة:

تحضر المبادلات الشاردية الضعيفة الحموضة بحلمهة عديدي أكريلات الميتيل أو عديدي أكريلونيتريل(الشكل 4 – 17).

الشكل 4 – 17: تحضير المبادلات الحمضية الضعيفة.

ولا تتمكن هذه المبادلات من تثبيت الشوارد الموجبة للحموض القوية بل هي تثبت الشوارد الناتجة عن الحموض الضعيفة مثل أملاح حمض الكربون (كربونات الكالسيوم الحمضية) وتستعمل لإزالة الكربونات من الماء وتجدد أيضا" بحمض كلور الماء أو كلور الصوديوم.

4 – المبادلات الشاردية السالبة (Échangeurs Anioniques):

تقسم المبادلات الشاردية السالبة أيضا إلى قسمين هما:

- القاعدية القوية:

تتمتع هذه المبادلات بالوظيفة الهيدروكسيلية (OH^-) أو الكلورية (Cl^-) وذلك تبعا لمحلول التجديد (حمض كلور الماء أو هيدروكسيد الصوديوم)

- القاعدية الضعيفة:

يثبت هذا النوع من المبادلات الشوارد السالبة القادمة من حموض ضعيفة فقط، وتكون الوظيفة الفعالة فيه عبارة عن الجذر (NH_2 -).

$$R - NH_2 + A^- + H_2O \rightleftharpoons R - NH_3^+ .... A^- + OH^-$$

ب) سعة المبادلات الشاردية (Capacité d'Échange):

إذا كان المبادل الشاردي في هيئة (M_1^+) وملامسا" للماء الحاوي على شوارد (M_2^+) فإنه يعمل على تثبيت هذه الأخيرة محررا" عددا" مكافئا" لها من شوارد (M_1^+)، يعبر عن ذلك التوازن بالمعادلة الآتية:

$$R - M_1^+ + M_2^+ \underset{2}{\overset{1}{\rightleftharpoons}} R - M_2^+ + M_1^+$$

تنزاح هذه العلاقة بالاتجاه (1) عندما يكون تركيز (M_2^+) في الماء مرتفعا"، ويحصل تبادل كلي للشوارد (M_1^+) المثبتة على المبادل مع الشوارد (M_2^+) التي في الماء. تعرّف السعة التبادلية بأنها عدد المكافئات الغرامية من الشوارد التي جرى تبديلها من أجل واحدة الكتلة (أو واحدة الحجم) من المبادل الشاردي. وهناك نوعان من السعة إحداهما تنتج في حالة التوازن الساكن، والأخرى في حالة التوازن الحركي.

1. التوازن الساكن (Équilibre Statique):

يحدث التوازن الساكن في حالة وضع كمية من المبادل الشاردي ضمن كمية من المحلول الحاوي على تركيز أولي معين من الشاردة القابلة للتبادل، وتجري عملية التبادل وتقف عندما تتساوى سرعة تثبيت الشاردة على المبادل مع سرعة تحرر تلك الشاردة، وتسمى هذه الحالة التوازن الساكن، وبتطبيق قانون الكتلة على معادلة التوازن الواردة أعلاه نحصل على العلاقة الآتية

$$K' = \frac{\{M_2^+\}_R \{M_1^+\}_S}{\{M_2^+\}_S \{M_2^+\}_R} \qquad (1)$$

حيث ترمز (R) إلى المبادل و (S) إلى المحلول والقيمة الواردة ضمن القوس { M } تعبر عن الفعالية وليس عن التركيز، ويمكن تبديل الفعالية بالتركيز مضروب بمعامل الفعالية، وبالتالي تصبح العلاقة (1) على الشكل الوارد بالعلاقة (2):

$$\frac{[M_2^+]_R [M_1^+]_S}{[M_2^+]_S [M_1^+]_R} \frac{\gamma_{1S}}{\gamma_{2S}} = K' \frac{\gamma_{1R}}{\gamma_{2R}} \qquad (2)$$

حيث ترمز (γ) إلى معامل الفعالية [M] إلى التركيز، وتنتهي قيمة معامل الفعالية إلى الواحد في المحاليل الممددة وتكون قيمة (γ_{2R} / γ_{1R}) ثابتة، وبالتالي تصبح العلاقة (2) على الشكل التالي:

$$\frac{[\,M_2^{+}\,]_R\,[\,M_1^{+}\,]_S}{[\,M_2^{+}\,]_S\,[\,M_1^{+}\,]_R} = K \qquad (3)$$

ويرمز (K) في العلاقة (3) إلى عامل الانتقائية (Facteur de Selectivité).

المبادل الشاردي الموجب بصيغته الصودية والملامس للماء الحاوي على شوارد الكالسيوم يقوم بتثبيت هذه الأخيرة محررا عددا" مكافئا" له من شوارد الصوديوم، ويمكن التعبير عن ذلك التوازن بالمعادلة:

$$2\,R - Na + Ca^{+2} \rightleftarrows R_2 - Ca + 2Na^{+}$$

أما عامل الانتقائية فإنه يحدد بالعلاقة:

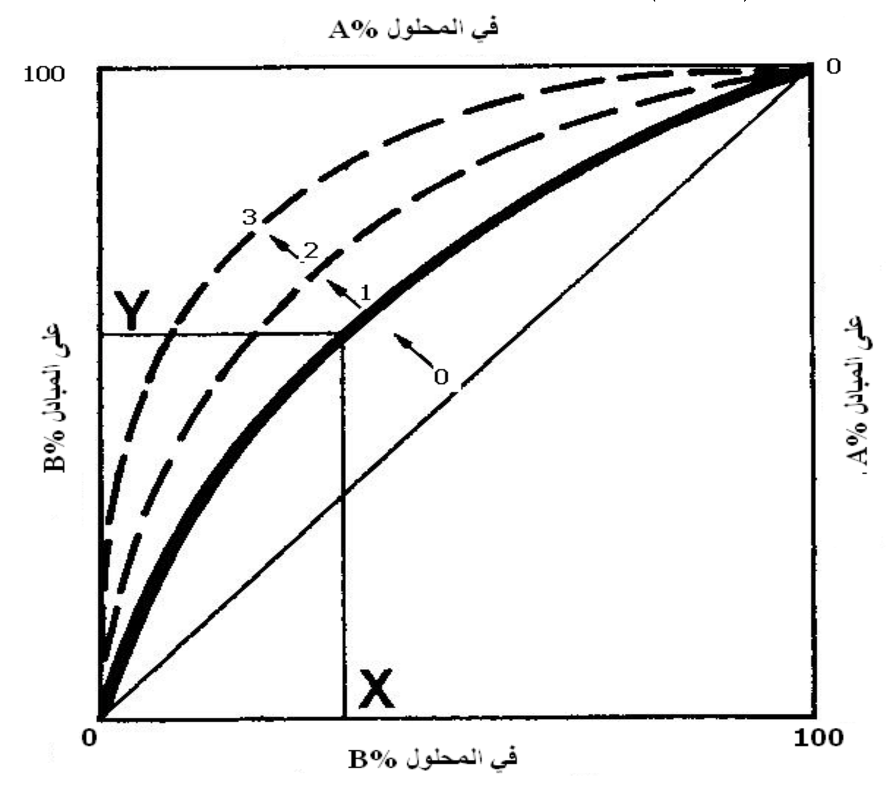
$$K = \frac{[R_2\,Ca]\,[Na^{+}]^2}{[R\,Na]^2\,[Ca^{+2}]}$$

واعتمادا"على التراكيز الجزيئية الغرامية، عندما تكون قيمة (K > 1) فإن شوارد الكالسيوم تطرد شوارد الصوديوم من على سطح المبادل، وعموما" فإن قيمة (K) تتراوح بين واحد وخمسة من أجل الشوارد أحادية التكافؤ، نلاحظ من المعادلة التبادلية أعلاه أنها تمثل حالة توازن، أي يمكن استبدال الكالسيوم المثبت على المبادل مع شوارد الصوديوم إذا كان تركيز تلك الأخيرة في المحلول عاليا". وانطلاقا" من ذلك تجرى عملية التجديد للمبادل الشاردي، مما يسمح باستثماره فترة زمنية طويلة جدا" (سنوات).

لنفرض أن المبادل في وسط يحتوي نوعين من الشوارد (A و B)، فإن تركيز كل منها في الوسط السائل وعلى سطح المبادل يمثل بالمنحنيات الواردة على الشكل (4–18).

في حالة التوازن ومن أجل تركيز قدره (X%) من الشاردة (B) في المحلول فإن المبادل الشاردي يحتوي قيمة (Y%) من أجل الشاردة نفسها. إذا كانت الشاردة (B) تمتلك ألفة مساوية لألفة الشاردة (A) بالنسبة للمبادل، فإن المنحني البياني للتوازن يطابق الخط القطري للمربع

(الخط 0)، وكلما كانت ألفة (B) أكبر من ألفة (A) كلما تغير شكل المنحني باتجاه الأسهم الموضحة بالشكل (4 – 18).



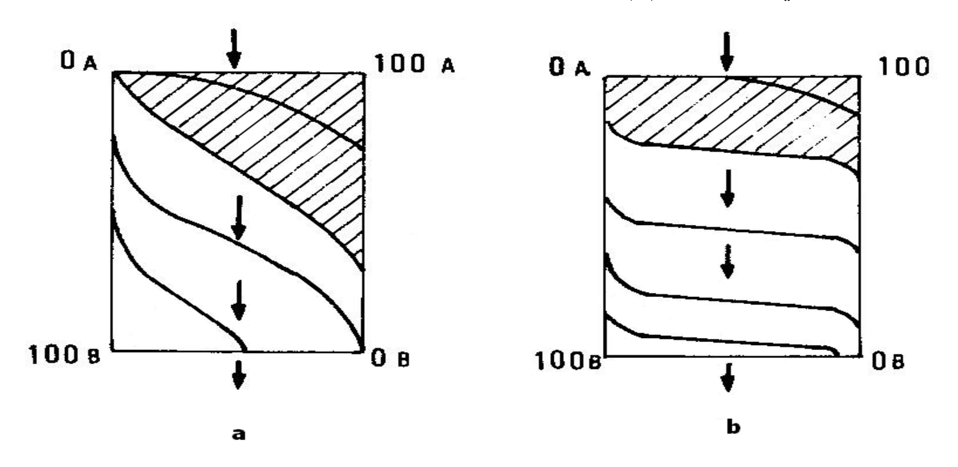
الشكل 4 – 18: توزع الشوارد (A و B) بين السائل والمبادل الشاردي.

2. التوازن الحركي (Équilibre Dynamique):

لاحظنا في حالة التوازن الساكن أن الكمية المتبادلة تتوقف عند الوصول إلى حالة التوازن، ولذلك فإن استعمالها في المجال العملي يظل محدودا جدا". وللوصول إلى تبادل أكثر بعدا، تستعمل طريقة الطبقات المتتالية من المبادل الشاردي والتي يعبرها المحلول المراد معالجته. تحدث حالة التوازن في كل منطقة يعبرها المحلول، وبالتالي يتناقص تركيز الشوارد في الوسط المائي باستمرار إلى أن يتم التخلص منها تماما، أو على الأقل بنسبة كبيرة وتحل محلها في المحلول الشوارد التي كانت مثبتة على المبادل.

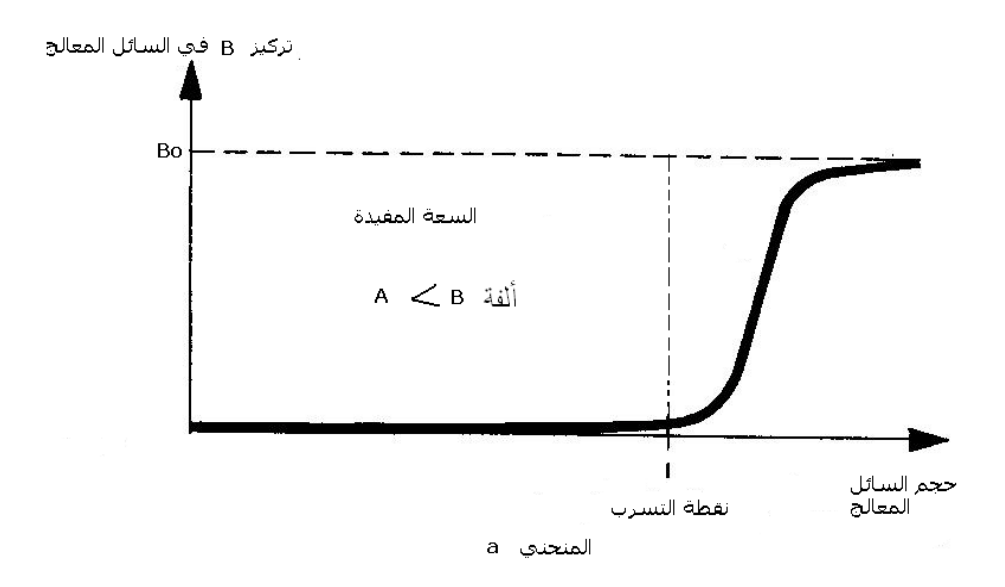
لنفرض أن المبادل الشاردي متوافر بالشكل الشاردي (A) ويمر عليه سائل يحتوي الشاردة (B) فإن ذلك يؤدي إلى حدوث سلسلة من التوازنات عبر عمود التبادل بين (A) و (B) يعبر عنها بالمنحنيات البيانية للتركيز والموضحة بالشكل (4 – 19)، وذلك من أجل حالة كون ألفة

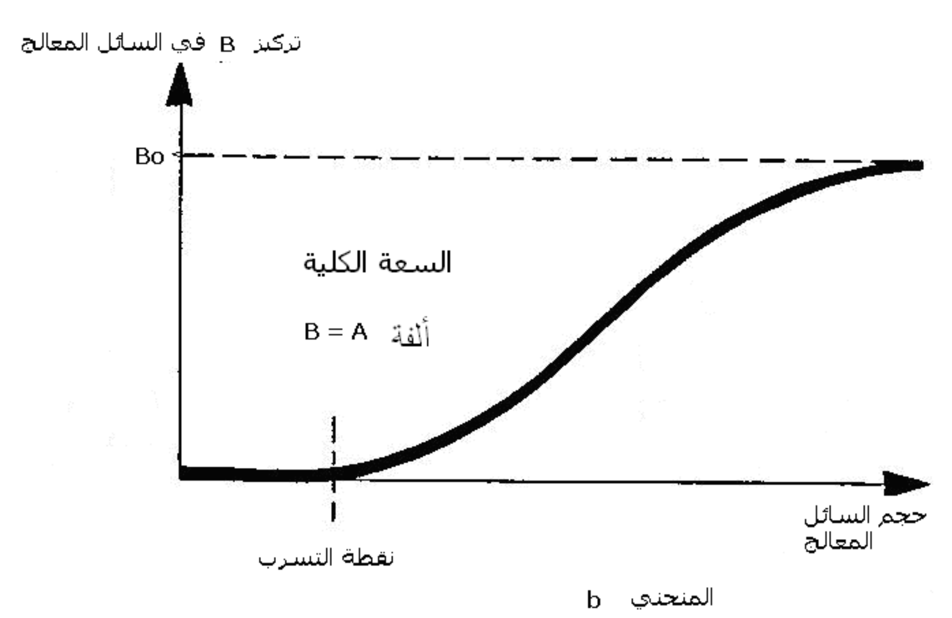
الشاردة (A) أكبر من ألفة الشاردة (B) والذي يظهر في المنحني (a)، وحالة تساوي الألفتين، وهذا ما يظهر في المنحنيات (b),



الشكل 4 – 19: المنحنيات البيانية للتركيز على عمود التبادل في حالتي تساوي الألفتين واختلافها.

إن دراسة تركيز الشوارد في المحلول المعالج (بعد مروره على عمود المبادل) بدلالة حجم السائل المعالج مع تحديد نقطة التسرب (Point de Fuite) يسمح بتحديد السعة المفيدة للمبادل (Utile) والسعة الكلية (Capacité Totale) وهذا ما توضحه المنحنيات البيانية للتركيز بدلالة حجم السائل المعالج (الشكل 4 – 20) في الحالتين (a و b).





الشكل 4 – 20: السعة الكلية والسعة المفيدة لعمود التبادل في الحالتين a و b .

إن شكلي المنحنيين البيانيين السابقين (الشكل 4 – 20) لايتعلق فقط بشكل المنحني البياني للتوازن الساكن، بل بحركية التبادل (Cinétique d'Échange) بين السائل والمبادل، هذه الحركية تتعلق بعملية التسلل (Pénétration) للشوارد المنحلة إلى داخل بنية الجسيمات المبادلة (توازن دونان DONANE). إن تلك الظواهر معقدة جدا" لتدخل العديد من العوامل

فيها، وأهم تلك العوامل: درجة الحرارة، تركيز الشوارد، درجة التشرد، طبيعة السطح المبادل، وحركية التسلل داخل مسام الجسم الصلب للمبادل وذلك للوصول إلى المراكز الفعالة.

في المجال العملي، فإن السعة الكلية، أي العدد الكلي للمكافئات الغرامية التي يمكن تثبيتها على لتر من المبادل، ليس لها معنى عملي، ولذلك تستعمل السعة المفيدة والتي يتم الحصول عليها من المنحنيين البيانيين الممثلين لتركيز الشاردة في المحلول المعالج بدلالة حجم السائل المعالج (الشكل 4 – 20).

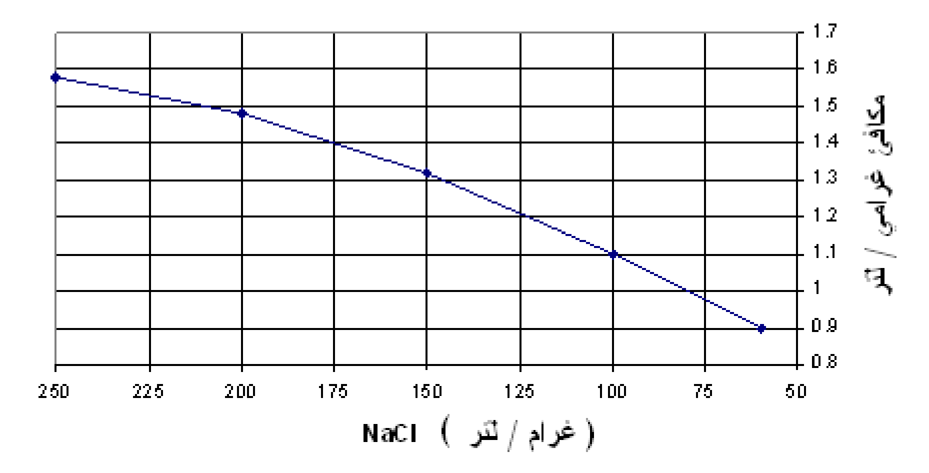
ج) طرائق تجديد المبادلات:

بعد استعمال المبادلات تكون الطبقات العليا منها قد أشبعت بالشاردة (B) وهي في حالة توازن مع تلك التي في المحلول، ويجري تجديد المبادل الشاردي باستعمال محلول مركز من شاردة أخرى (A) تزيح الشاردة (B) بفعل التركيز وتجري العملية باتجاه مطابق لعملية عبور السائل خلال التبادل أو باتجاه معاكس لها.

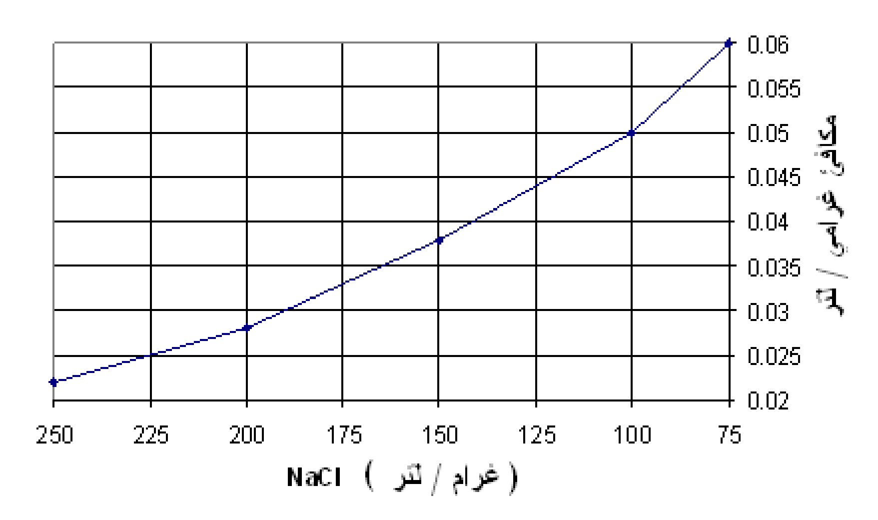
- التجديد باتجاه موافق لاتجاه التبادل:

يجري التجديد بإمرار محلول مركز من (A) الذي يعمل على إزاحة الشوارد (B) المثبتة على المبادل، حيث تنتقل مع المحلول إلى الطبقة الأدنى لتعود من جديد إلى المبادل بفعل التركيز، وهكذا تستمر العملية إلى أن تصل الشوارد (B) إلى الطبقات الدنيا من العمود الحاوي على المبادلات. عموما" فإن كمية كبيرة من الشوارد (B) تبقى مثبتة على الطبقات التي في نهاية العمود، ولأن إزاحتها تماما" تتطلب إمرار كمية كبيرة من محلول التجديد مما يجعل الكلفة مرتفعة من جهة وزمن التجديد طويلا" أيضا". وينتج عن التجديد بهذه الطريقة تسرب للشوارد (B) في بداية الدورة التالية. ويعطي الشكل (4 – 21) قيم الاستطاعة المفيدة لمبادل شاردي صودي (HP111E) بدلالة تركيز محلول التجديد المستعمل (كلور الصوديوم).

إن نقطة التسرب اللازمة لتحديد السعة المفيدة متعلقة بتركيز محلول التجديد المستخدم، ويوضح المنحنيان البيانيان في الشكل (4 – 22) تلك العلاقة في حالة التجديد باتجاه مماثل لاتجاه حركة السائل خلال المعالجة للمبادل الشاردي الصودي (HP111E).



الشكل 4 – 21: الاستطاعة المفيدة بدلالة تركيز محلول التجديد والذي جرى بالاتجاه المماثل لحركة السائل في أثناء المعالجة{ 72}.



الشكل 4 – 22: علاقة نقطة التسرب بتركيز محلول التجديد { 72}.

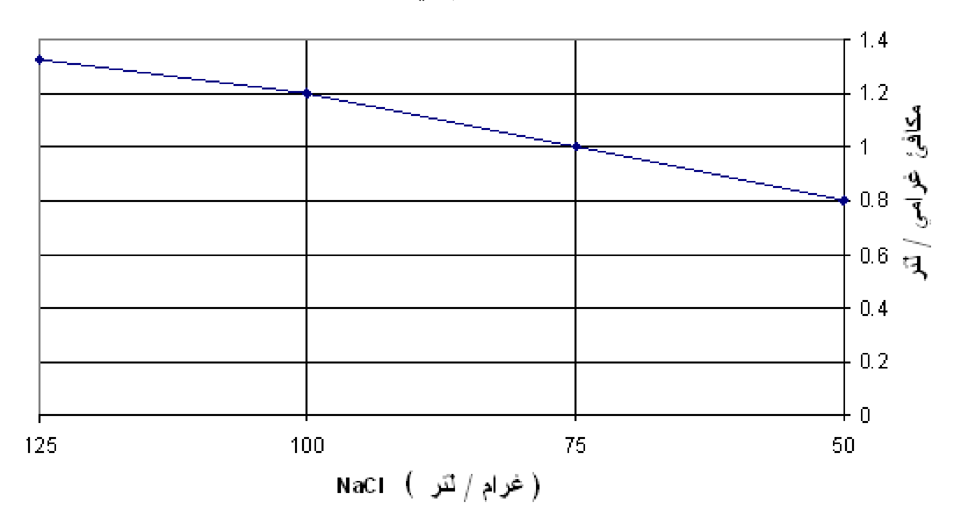
- التجديد باتجاه معاكس لاتجاه التبادل:

في هذه الحالة، فإن الشوارد المجددة (A) تلامس الطبقات السفلى من العمود ذات التركيز الخفيف بالشوارد (B)، حيث تزيحها بسهولة وتنتقل مع المحلول إلى الطبقات الأعلى من المبادل الأكثر إشباعا من السفلى بالشاردة (B)، وبذلك لا تحدث عملية تثبيت لها وتظل ضمن الطور السائل وتتحرك معه إلى نهاية العمود.

تتمتع هذه الطريقة بميزتين أساسيتين هما:

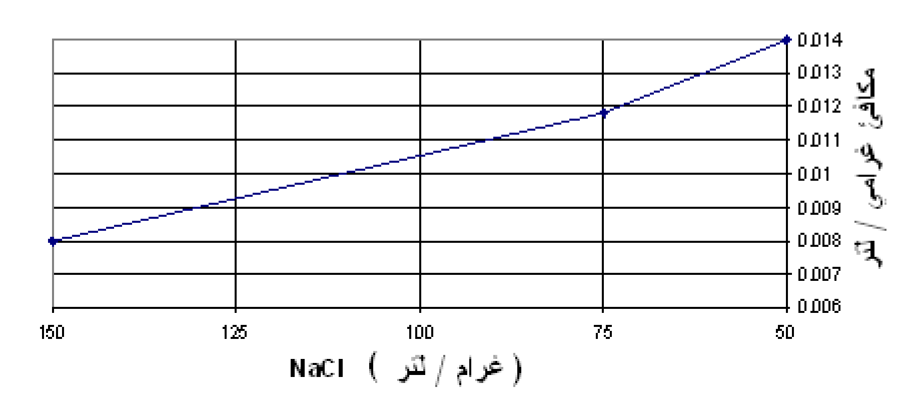
1) تحسين المردود مع استعمال كميات أقل من الكواشف الكيميائية.

2) تحسين في نوعية الماء المعالج لأن الطبقات الدنيا من العمود قد جددت باستعمال محاليل مركزة (منطقة دخول محلول التجديد) ولذلك فإنها تشكل في أثناء عملية التبادل ضمانا" بعدم تسرب فوري للشوارد المراد إزالتها. ويعطي الشكل (4 – 23) منحنيا" بيانيا" للسعة المفيدة للمبادل الصودي (HP111E) بدلالة تركيز محلول التجديد، ضمن شروط التجديد باتجاه معاكس لاتجاه عبور الماء الخام في أثناء إزالة القساوة.



الشكل 4 – 23: الاستطاعة المفيدة بدلالة تركيز محلول التجديد والذي جرى بالاتجاه المعاكس لحركة السائل في أثناء المعالجة { 72}.

ونعرض أيضا المنحني البياني لعلاقة نقطة التسرب بتركيز محلول التجديد للمبادل ذاته (الشكل4 – 24).



الشكل 4 – 24: علاقة نقطة التسرب بدلالة تركيز محلول التجديد{ 72}.

4. 3. 4 الترسيب الكيميائي:

يستعمل الترسيب الكيميائي في حالات خاصة منها إزالة القساوة أو الحديد والمنغنيز، أو الفوسفات أو الفلور وغيرها من العناصر التي لا يمكن التخلص منها ضمن سلسلة تصفية مياه الشرب التقليدية، والتي تكون نسبتها في المياه الخام أعلى بكثير من النسبة المسموح بها ضمن المقاييس المعتمدة. ولكن استعمال هذه التقنية في مجال المياه الصناعية واسع جدا".

ونظرا" لكون الترسيب الكيميائي هو تفاعل كيميائي، فمن غير الممكن وضع قواعد عامة لتلك التقنية، حيث لكل تفاعل شروطه الخاصة من المواد المضافة، أو الشروط العامة من حرارة وpH الوسط والتجهيزات المستعملة، ولذلك سيتم التعرض إليها بالتفصيل عند الحديث عن التطبيقات العملية للترسيب الكيميائي.

4. 4. التعديل :

يشمل التعديل كافة المعالجات التي تجري على المياه الخارجة من محطة المعالجة أو ضمن مرحلة معينة من المعالجة أو المياه الخام لتصبح قيمة pH الوسط قريبة من التعادل أو موافقة لتوازن ثنائي أكسيد الكربون – كربونات.

تجرى عملية التعديل باستعمال طرائق فيزيائية كالتهوية أو إضافة كواشف كيميائية (الكلس الحي، الصودا، كربونات الصوديوم،....،...). كما أن الكواشف الحمضية يمكن أن تضاف في بعض الحالات لتعديل قيمة pH الوسط بما يتناسب مع مرحلة معينة من المعالجة (مرحلة التكتل على سبيل المثال).

تجرى عملية التهوية عادة قبل مرحلة التصفية، بينما يجري التعديل باستعمال الكواشف الكيميائية قبل عملية التصفية أو بعدها أو في الحالتين معا.

4. 4. 1 إضافة الكواشف القلوية:

المياه الحمضية الطبيعية (الغنية بغاز ثنائي أكسيد الكربون) أو المياه التي عولجت بالتكتل والترقيد تحتاج إلى تعديل في قيمة pH الوسط، حيث تجري تلك العملية بإضافة أساس أو كربونات قلوية:

$$2\,CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$CO_2 + NaOH \longrightarrow NaHCO_3$$

$$CO_2 + H_2O + Na_2CO_3 \longrightarrow 2\,NaHCO_3$$

$$CO_2 + H_2O + CaCO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

4. 4. 2 إضافة الكواشف الحمضية:

إن قلوية المياه قد تكون ناتجة عن نقص بغاز ثنائي أكسيد الكربون في المياه السطحية الطبيعية. في هذه الحالة فإن التعديل يجري باستعمال غاز ثنائي أكسيد الكربون:

$$2\,CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

أما المياه الصناعية وشديدة القلوية فإنها تعدل باستعمال الحموض القوية، ولعامل اقتصادي يستعمل حمض الكبريت:

$$Ca(OH)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + H_2O$$

4. 5 أكسدة المياه وتعقيمها:

إن المراحل السابقة المستخدمة في معالجة المياه تؤدي دورا" لا بأس به في التخلص من الأحياء الدقيقة والممرضة منها التي تكون في المياه السطحية. كما أنها تزيل البكتريا والفيروسات وأحياء أخرى من الحجم نفسه، ولكن مع ذلك يتسرب قسم كبير من البكتريا والفيروسات المقاومة لتلك العمليات حيث تظهر في الماء المرشح. لذلك فإن عملية تعقيم نهائية تكون ضرورية ليصبح الماء صالحا" للشرب، ومن أهم الطرائق المستعملة في التعقيم:

- الكلور ومشتقاته (هيبوكلوريت الصوديوم، هيبوكلوريت الكالسيوم).
- الأوزون.
- الأشعة فوق البنفسجية (UV).

إن القاعدة المتبعة لمعرفة فعالية التعقيم هي الكشف عن وجود بكتريا الكوليفورم (Coliformes) في الماء المعقم، لأن تلك البكتريا دليل على التلوث الحيوي من جهة، ولكونها أكثر مقاومة لعملية التعقيم من البكتريا الأخرى الممرضة. إن هذه القاعدة مازالت سارية المفعول رغم اكتشاف بعض الأنواع من الفيروسات الأكثر مقاومة للتعقيم من الكلوليفورم .

كما أن المعقمات المستعملة مثل الكلور والأوزون تكون مواد مؤكسدة قوية، ولذلك فإنها تؤدي دور المؤكسد إضافة إلى دورها كمعقم، وتشمل عملية الأكسدة كلا" من المركبات العضوية والمعدنية المنحلة في الماء، مما يخفف من التلوث ليس الحيوي فقط، بل الكيميائي أيضا،

ويمتد ذلك للتخفيف من التلوث الفيزيائي (إزالة اللون). ونورد في الجدول (4 – 3) مقارنة بين الطرائق المختلفة للتعقيم.

الجدول 4 – 3: مقارنة بين المعقمات المستعملة في مياه الشرب.

المادة المعقمة		الكلور Cl_2	الأوزون O_3	ثنائي أكسيد الكلور ClO_2	الأشعة فوق البنفسجية UV
المصدر		كلور غازي ماء جافيل كلور مولد مباشرة	توليد في الموقع	توليد في الموقع $NaClO_2$ + Cl_2	مصباح في الموقع
مواد ثانوية ناتجة عن العقيم		THM, AHA	برومات، مواد عضوية قابلة للتحلل	كلوريت + كلورات	نترات أحيانا"
إيجابيات الطريقة		• كلفة منخفضة • سهولة الاستخدام • تعقيم أولي ونهائي	• إزالة الطعم واللون والرائحة • يمكن جمعه إلى ترشيح حيوي • تفاعل مع THM	• لا يتفاعل مع الأمونيا • لا يشكل THM أو AHA • ممتاز لأكسدة الحديد والمنغنيز	• سهل الإدخال إلى وحدة قائمة • فعال في المياه الباردة • كلفة متوسطة • لا يعطي مركبات ثانوية
سلبيات الطريقة		• إعطاء مركبات ثانوية (THM) • رائحة وطعما"	• تكوين البرومات • طريقة معقدة ومكلفة • خطورة انطلاق الأوزون في الجو	• تكوين الكلوريت والكلورات • طعما" ورائحة • المتبقي منه يجب ألا يتجاوز 0.8 جزء في المليون • صعوبة التعامل مع $NaClO_2$	
الفعالية اتجاه	Virus	جيد جدا"	ممتاز	جيد	مقبول
	Giardia	مقبول	جيد جدا"	جيد	جيد جدا"
	Cryptosporidium	مهمل	مهمل	مهمل	ممتاز

4. 5. 1 المعالجة بغاز الكلور ومشتقاته:

آ) الكلور (Cl2):

يتفاعل الكلور مع الماء مباشرة وفق المعادلات الآتية:

$$(1) \quad Cl_2 + 2\,H_2O \rightleftarrows HClO + H_3O^+ + Cl^-$$

$$(2) \quad HClO + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + ClO^-$$

$$(3) \quad 2\,HClO \longrightarrow 2\,H^+ + 2\,Cl^- + O_2$$

إن الكلور الحر (Cl_2) لا يكون إلا في المحاليل المركزة جدا" (1 غرام / لتر)، علما أن تلك المحاليل المركزة تؤدي إلى تفكك سريع للكلور الحر، وإن قيمة ثابت تفكك حمض الهيبوكلوريت (K_2) ذات قيمة صغيرة مما يؤكد أن الحمض ضعيف وتفككه مرتبط بقيمة (pH) الوسط. ففي وسط حمضي (pH = 5) يكون تفككه معدوما"، بينما يكون التفكك كاملا" في وسط قاعدي (pH = 10)، ولما كان حمض الهيبوكلوريت أكثر فعالية من شوارد الهبوكلوريت كمبيد للبكتريا (Bactericide)، لذلك فإن توزع الكلور فيما بينهما، تبعا لقيمة (pH) الوسط، يكون مهما" جدا" في عملية التعقيم. ومن الممكن حساب ذلك التوزع استنادا" إلى المعادلة (1) الواردة أعلاه، حيث إن ثابت التوازن معطى بالعلاقة الآتية:

$$K_1 = \frac{[\,HClO\,]\,[\,Cl^-\,][H_3O^+\,]}{[\,Cl_2\,]}$$

إن قيمة ثابت التوازن (K_1) تتحول بين القيمة ($1.\,5x10^{-4}\ mol^2.\ l^{-2}$) والقيمة ($4x10^{-4}\ mol^2.\ l^{-2}$) من درجات حرارة محصورة بين الصفر و (25° م).

يلاحظ من العلاقة أعلاه أن التوازن خاضع لتأثير قيمة (pH) الوسط وتركيز الكلور في الماء، وبالأخذ بالحسبان قيمة ثابت التوازن في الدرجة العادية من الحرارة ، وأن تركيز شوارد الكلور في المياه السطحية منخفض نسبيا"، يمكن إهمال تركيز جزيئات الكلور من أجل قيم (pH) أعلى من أربعة.

إن حمض هيبوكلوريت الناتج عن حلمهة الكلور هو حمض ضعيف ويتفكك في الماء تبعا" للمعادلة (2)، وبالتالي يمكن كتابة علاقة ثابت الحمض كالآتي:

$$Ka = \frac{[ClO^-][H_3O^+]}{[HClO]}$$

إن قيمة هذا الثابت (Ka) تتحول بين ($1.6x10^{-8}$ mol. l^{-1}) و ($3.2 x10^{-8}$ mol. l^{-1}) من أجل درجات حرارة محصورة بين الصفر و 25° م.

إن هاتين المعادلتين المتوازيتين الأساسيتين (1 و 2) وقيمة ثوابتهما تظهر أن الأجسام الرئيسية الناتجة عن انحلال الكلور في الماء هي حمض الهبوكلوريت وشوارد الهبوكلوريت والتي تتحول نسبتهما بتحول قيمة (pH) الوسط. يصبح من السهل تحديد تركيز كل منها من أجل قيمة محددة من (pH) الوسط. إذا فرضنا أنهما من الناحية الكمية المؤكسدان الوحيدان الناتجان عن انحلال الكلور في الماء، يمكن كتابة العلاقة الآتية:

$$\% \ ClO^- = 100 - \% \ HClO$$

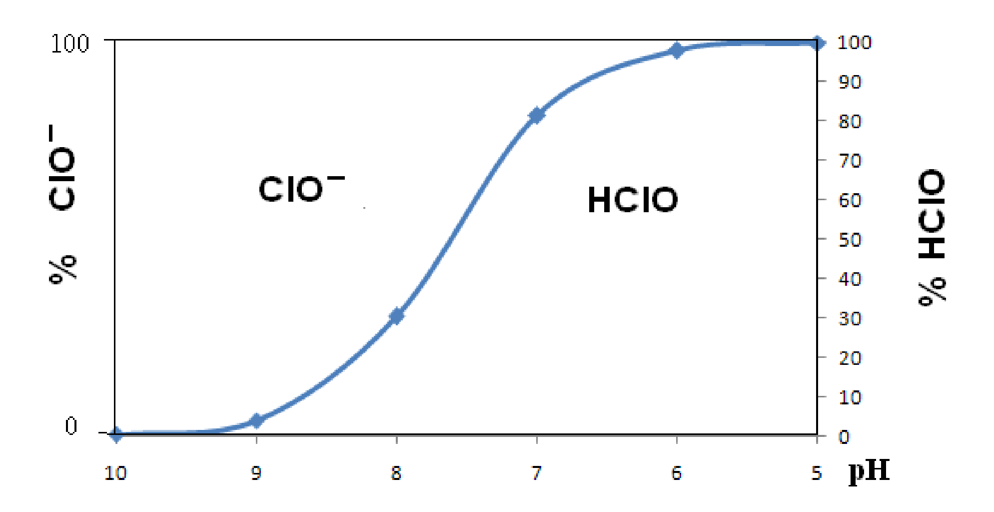
واستنادا" إلى العلاقات السابقة التي تعطي قيم الثوابت (K_1 و Ka) يمكن الوصول إلى العلاقة:

$$\% \ HClO = \frac{100}{1 + \frac{Ka}{[H_3O^+]}}$$

في الدرجة 15° م فإن قيمة الثابت (Ka) تكون ($2.3 x 10^{-8}$ mol. l^{-1}) وبالتالي تصبح العلاقة الرقمية كالآتي:

$$\% \ HClO = \frac{100}{1 + \frac{2.3 x 10^{-8}}{[H_3O^+]}}$$

إن استعمال العلاقة الأخيرة ضمن منطقة محصورة بين (PH = 5 و pH = 10) يعطي المنحني البياني الوارد بالشكل (4 – 25) لتركيز كل من شاردة الهبوكلوريت وحمض الهيبوكلوريت بدلالة (pH) الوسط.



الشكل 4 – 25: توزع الكلور على شكل حمض الهيبوكلوريت وشوارد الهيبوكلوريت بدلالة pH الوسط.

يتوافر الكلور في الوسط المائي على شكل مركبات عديدة ومختلفة بصيغتها الكيميائية، ولكنها كلها فعالة في عمليتي التعقيم والأكسدة وأهمها:

- الكلور النشيط الحر: يشمل هذا الاصطلاح الكلور الجزيئي (Cl_2)، وحمض الهيبوكلوريت(HClO) وشاردة الهبوكلوريت (ClO^-)، وكافة المركبات التي تعطي بالحلمهة تلك الصيغ السابقة.
- الكلور النشيط المتحد (كلور متحد): وهذا يعني مشتقات الكلور التي تحرر الكلور النشيط بالحلمهة في الوسط المائي.

إن الكلور الكلي يساوي الكلور الحر والكلور المتحد ويعبر عنه بالمليغرام في اللتر أو بالغرام في المتر المكعب.

1- الصفات التعقيمية للكلور:

ترتبط القدرة التعقيمية للكلور بشروط الاستعمال (معدل المعالجة، زمن التلامس، pH الوسط، درجة الحرارة،....،... .) وبتركيز المواد العضوية والمعدنية المتفاعلة مع الكلور، ولاسيما السريعة التفاعل كالأمونيوم.

إن قدرة الكلور على إبادة البكتريا، تعود أساسا" إلى حمض الهيبوكلوريت الذي يفوق شاردة الهيبوكلوريت بمقدار 100 إلى 300 مرة في قدرته على إبادة للبكتريا. ولكن نظرا" إلى التوازن القائم بين (ClO^- و HClO) فإن سرعة التعقيم تكون أكبر في الوسط الحمضي.

إن الكلور الحر قادر على قتل البكتريا المعوية خلال دقائق قليلة من التماس، ولكن تأثيره على الفيروسات أعطى نتائج مختلفة بين جيدة الفعالية ومتوسط الفعالية نتيجة اختلاف أنواعها. وللكلور دور فعال على العديد من الأحياء الدقيقة الأخرى وعلى أكثر أنواع الطحالب.

2- الصفات المؤكسدة للكلور :

يتفاعل الكلور مع عدد من المركبات المعدنية والعضوية التي تكون في المياه السطحية. فالأمونيا تمثل حالة مهمة من تفاعلات الكلور, إن تلك التفاعلات سريعة ومعقدة ولكن يمكن تلخيصها بالآتي:

$$NH_3 + HClO \rightleftarrows NH_2Cl + H_2O \quad (Cl/NH_3 < 5,\ PH > 7)$$

$$NH_2Cl + HClO \rightleftarrows NHCl_2 + H_2O \quad (Cl/NH_3 > 5,\ PH < 7)$$

$$NHCl_2 + HClO \longrightarrow NCl_3 + H_2O \quad (Cl/NH_3 > 15)$$

$$2\,NHCl_2 + H_2O \longrightarrow N_2 + 3\,HCl + HClO$$

إن المعادلتين الأوليتين عكوستان، وبالتالي فإن وجود مركبات من أحادي أو ثنائي كلور الأمونيوم في الماء يعطي حمض الهيبوكلوريت، وهذا ما عنيناه بالكلور المتحد.

يؤكسد الكلور أيضا" العديد من المركبات المعدنية التي في الماء مثل (Br^- , NO_2^- Mn^{+2}, H_2S, Fe^{+2}). فعلى سبيل المثال تتأكسد شاردة النتريت بحمض الهيبوكلوريت بحسب المعادلة:

$$NO_2^- + HClO \longrightarrow HNO_3 + Cl^-$$

أما شوارد البروم فإنها تتأكسد معطية حمض الهيبوبروميت:

$$Br^- + HClO \longrightarrow HBrO + Cl^-$$

فيما يخص أكسدة المركبات العضوية المنحلة، فإن المياه السطحية تحوي عددا" كبيرا" منها. إن جزءا" من تلك المركبات يختفي خلال مراحل التصفية، أما الجزء الآخر فقد يتعرض إلى تغيرات في بنيته الكيميائية أو يبقى دون تأثر في جميع المراحل السابقة للتنقية ويخرج مع الرشاحة.

ظهر من خلال الأبحاث العلمية في منتصف السبعينيات من القرن الماضي أن كلورة الماء الحاوي على مركبات عضوية لم يتم التخلص منها في أثناء مراحل المعالجة المختلفة التي تسبق عملية التعقيم قد أدى إلى تشكل مركبات جانبية في أثناء التعقيم (SPD) مثل ثلاثي هالوجين الميتان (THM) وحمض هالوجين الخل (AHA)، وغيرها من المركبات الكلورية. وفي السنوات الأخيرة انكب عدد كبير من الباحثين على دراسة أثر الكلورة على تكوين المركبات الكلورية

العضوية ومدى تأثير تلك المركبات على الصحة. وقد أشار عدد من الأبحاث على مواد الدبال(Matieres Humiques) إلى تشكل عدد كبير من المركبات الكلورية العضوية الخطرة على الصحة.

يتضمن ثلاثي هالوجين الميتان أربع مركبات هي:

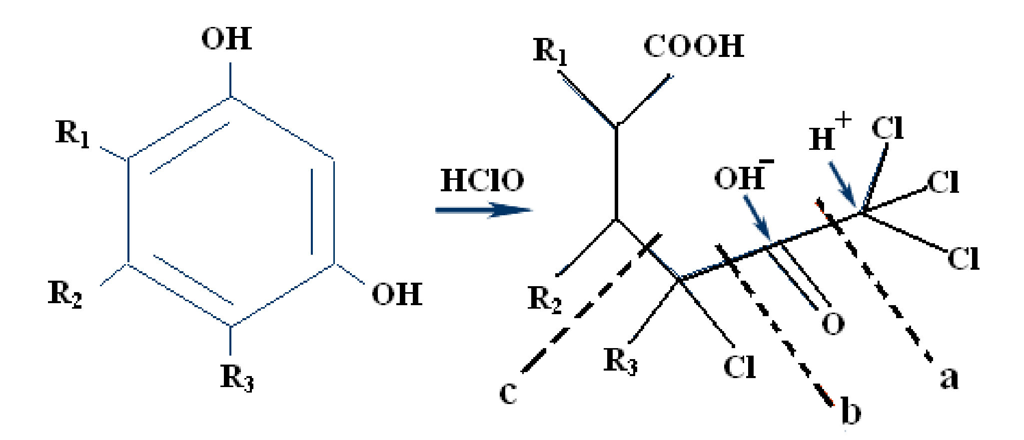
- كلوروفورم ($CHCl_3$)
- بروم ثناثي كلور الميتان ($CHBrCl_2$)
- ثنائي بروم كلور الميتان ($CHBr_2Cl$)
- بروموفورم ($CHBr_3$)

أما حمض هالوجين الخل فإنه يتضمن عددا" من المركبات منها:

- حمض أحادي كلور الخل ($CH_2ClCOOH$)
- حمض ثنائي كلور الخل ($CHCl_2COOH$)
- حمض ثلاثي كلور الخل (CCl_3COOH)
- حمض أحادي بروم الخل ($CH_2BrCOOH$)
- حمض ثنائي بروم الخل ($CHBr_2COOH$)

وأمكن إيجاد مركبات ثانوية أخرى منها ثنائي كلور الأسيتونتريل (Dichloroacétonitrile) وثنائي بروموأسيتونتريل (Dibromoacétonitrile) وغيرها من المركبات الكلورية والبرومية. ولكن أكثر المواد انتشارا" وتركيزا" في المياه المكلورة كانت مجموعتي (THM وAHA)، إضافة إلى ظهور النتريت والنترات وهالوجين الأسيتون. ولكن استعمال ثنائي أكسيد الكلور بدلا" من الكلور ينتج الكلوريت والكلورات ولا يعطي مركبات (AHA, THM).

تنتج المركبات الثانوية للكلورة في أثناء تفاعل الكلور مع المركبات العضوية الطبيعية الموجودة في المياه السطحية، ويبدأ التفاعل عند إضافة المعقم للماء، ويتوقف عند انتهاء كمية المعقم أو المواد العضوية القابلة للأكسدة، ونورد مثالا" لتفاعل مشتقات الريزوسينول مع الكلور الحر:



إن أكسدة الريزوسينول بحمض الهيبو كلوريت يبدأ بعملية كلورة للنوى العطرية، يليها تحطيم روابط النوى العطرية. عندما يتم كسر الرابطة في الموقع (a) يتكون ثلاثي كلور الميتان، بينما التحطيم في الموقع (b) يعطي مشتق حمض كلور الخل، أما القطع في الموقع (c) فإنه يشكل مشتقات مركبات كلوروسيتون.

يتأثر تكوين تلك المركبات بعوامل عديدة يمكن جمعها في صنفين هما:

- صنف مرتبط مباشرة بنوعية المياه الخام (وجود مركبات عضوية، أو شوارد بروم)
- صنف مرتبط بشروط المعالجة المطبقة (pH، درجة الحرارة، معيار المعقم، زمن التماس بين الكلور والماء).

إن العامل الأهم في تكوين تلك المركبات في مياه الشرب هو أسلوب المعالجة المطبق قبل التعقيم، وخاصة مدى إمكان تسرب الملوثات العضوية من مراحل المعالجة.

ولذلك فإن القائمين على معالجة المياه عملوا على إضافة مرحلة أكسدة قبل التعقيم بالكلور للتخلص من تلك المركبات العضوية قبل الكلورة، والاكتفاء بالكلور كمرحلة نهائية للتعقيم، وذلك لصفاته التعقيمية الجيدة، وقدرته على البقاء فترة طويلة في الماء، مما يسمح بالاحتفاظ بفعله التعقيمي في أثناء عبور المياه لأنابيب شبكة التوزيع.

إن التحول الكلي للمركبات العضوية خلال عملية الكلورة والذي يقاس بتفكك الكربون العضوي (COT) يكون ضعيفاً" (5 – 15%) مقارنة مع الأوزون. غير أن عملية الكلورة قادرة على إزالة الطعم والرائحة واللون للماء، مع العلم أن كل تلك الصفات ناتجة عن مركبات عضوية من أصل طبيعي (مواد الدبال والفولفيك) أو من أصل صناعي.

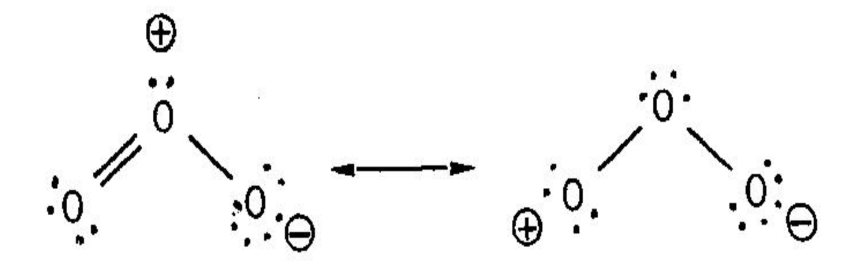
ب) ثناني أكسيد الكلور ClO_2 :

استخدم ثناني أكسيد الكلور منذ فترة زمنية طويلة في مجال معالجة المياه، ولكن ذلك الاستعمال ظل محدودا" نتيجة عوامل تقنية واقتصادية. أما بعد اكتشاف تأثير الكلور بتشكيل المركبات الكلورية العضوية الضارة، فإن استعمال ثناني أكسيد الكلور في محطات معالجة مياه الشرب قد ازداد بشكل لا بأس به.

إن ثناني أكسيد الكلور مؤكسد قوي، فهو يؤكسد الحديد والمنغنيز إضافة لأكسدته للعديد من المركبات العضوية المنحلة في الماء. ويتميز ثنائي أكسيد الكلور عن الكلور بأنه لا يشكل مركبات ثلاثي هالوجين الميتان الضارة، بعكس الكلور.

4. 5. 2 المعالجة بالأوزون :

يستعمل الأوزون (O_3) أساسا" في معالجة المياه في محطات مياه الشرب وفي محطات معالجة مياه الصرف وخاصة الصرف الصناعي، إن استعماله منتشر في جميع أنحاء العالم، إذ يستعمل الأوزون في محطة معالجة مياه الشرب لمدينة حلب القائمة على نهر الفرات. يحتوي جزيء الأوزون ثلاث ذرات من الأكسجين تربط بينهما رابطتان طول الواحدة (1.278 ± 0.003 A°) ويفصل بين الرابطتين زاوية قدرها(116° 45َ ± 35"). يتمتع جزيء الأوزون بعزم ثنائي القطب ضعيف نسبيا"، ويمكن تمثيل جزيء الأوزون كالآتي:



بنية جزيء الأوزون المقترحة من قبل BAILY ; GORDY ; HUGUES

وتتطلب المعالجة بالأوزون في الوسط المائي في المرحلة الأولى إدخال الهواء الأوزوني أو الأكسجين الأوزوني في الوسط المائي بعد توليده مباشرة، لأن الأوزون الفعال هو المنحل في الماء. وتخضع عملية الانحلال لقانون لويس – ويتمان (LEWIS – WHITMAN) المطبق على الغازات ضعيفة الانحلال في الوسط السائل:

$$N = K_L \cdot a \quad (C_L^* - C_L)\ V$$

حيث:

N – كمية الغاز المنتقلة من الوسط الغازي إلى الوسط السائل بواحدة الزمن.

C_L^* – تركيز الغاز في الطور السائل وفي مرحلة التوازن مع الطور الغازي.

C_L – التركيز الآني للغاز في الطور السائل وذلك قبل حدوث التوازن.

K_L – المعامل الكلي لانتقال المادة .

a – السطح النوعي للتبادل ويعادل نسبة سطح التبادل بين الطورين إلى حجم الطور السائل (V).

إن التركيز الأعظمي للأوزون في الأكسجين الأوزوني المصنع يبلغ (20 إلى 40 مغ / لتر)، وهو يعطي انحلالية ضعيفة في الماء (10 مغ / لتر) في الدرجة 20° م تحت الضغط الجوي العادي، لذلك فإن الاتجاه العملي للوصول إلى كمية منحلة من الأوزون، تطابق الشروط المطلوبة لتنقية المياه، يتلخص برفع قيمة سطح التبادل بين الطورين بضخ الأكسجين الأوزوني داخل الماء بهيئة فقاعات صغيرة.

يتفكك الأوزون المنحل بالماء، وسرعة تفككه مرتبطة بعدة عوامل أهمها درجة الحرارة و pH الوسط والأملاح المنحلة ووجود مواد مرجعة أو مؤكسدة في الماء.

آ) تأثير الأوزون في المواد الملوثة:

- الحديدي والمنغنيز: يؤكسد الأوزون بسرعة كبيرة شوارد الحديدي (Fe^{+2}) وشوارد المنغنيز (Mn^{+2}) ويسهل بذلك عملية ترسبهما والتخلص منهما.
- الفينول والمركبات الفينولية: يحطم الأوزون المركبات الفينولية ويحولها إلى مركبات عضوية مفتوحة مع نسبة كبيرة من التحلل النهائي إلى (CO_2) وماء، إن سرعة التفاعل والمردود يتعلقان بقيمة pH الوسط، ونظرا" إلى كون مياه الشرب معتدلة إلى قاعدية خفيفة ($PH = 7 – 8.5$) فإن هذه الشروط جيدة لحدوث تفاعل الأكسدة بالأوزون.
- الفحوم الهيدروجينية: يؤكسد الأوزون الفحوم الهيدروجينية غير المشبعة بسرعة جيدة.
- المواد المنظفة: يتفاعل الأوزون مع المواد المنظفة، ومردود التفاعل مرتبط بتركيز الأوزون في الماء بعلاقة لوغارتمية:

$$C / C_o = e^{-ax}$$

حيث: C_o: تركيز المواد المنظفة المنحلة بالماء.

C: تركيز المواد المنظفة المتبقية بعد الأكسدة.

x: تركيز الأوزون المنحل بالماء.

a: معامل متعلق بنوع المادة المنظفة وبالشوائب المنحلة في الماء.

- المبيدات: يؤثر الأوزون في بعض أنواع المبيدات مثل (Aldrine) الذي يتحلل بوجود تركيز من الأوزون في الماء بحدود (1 غ / م^3)، بينما هو ضعيف الفعالية تجاه مبيدات أخرى مثل (HCH).

ب) دور الأوزون كمعقم:

إن الأوزون، بخلاف الكلور ومشتقاته، قادر على إتلاف الخلايا البكترية والفيروسات بسرعة، وهذا الأثر التعقيمي يتعدى البكتريا إلى أحياء دقيقة أخرى كالخمائر والفطريات، والأميبات، كما أن الأوزون قادر على إتلاف الأكياس والأبواغ {33,39}.

سمحت أعمال الباحثين مثل كوان (COIN) وجوميلا (GOMELLA) وهانون(HANNOUN) بتحديد الشروط العملية ليؤدي الأوزون دور المعقم. فمن أجل الوصول إلى تعقيم جيد للماء لابد من الحفاظ على تركيز قدره (0.4 مليغرام) من الأوزون في لتر الماء مدة أربع دقائق على الأقل، إن هذا التركيز وهذه الفترة الزمنية كافيان للقضاء على معظم الأحياء الدقيقة{28}.

لكن رغم فعالية الأوزون العالية فلا يمكن الاستغناء عن الكلور في محطات تنقية مياه الشرب، لأن الأوزون لا يبقى في الماء منحلا" فترة طويلة من دون تغذية مستمرة به، نتيجة التوازن القائم بين الطورين الغازي والسائل، إن الماء المعالج والمعقم بالأوزون يتلوث من جديد عند تخزينه في خزانات مياه الشرب أو عبوره شبكات التوزيع، بينما يتمتع الكلور بقدرة أكبر بكثير على البقاء فعالا" ضمن الوسط المائي، ولذلك تجرى عملية كلورة بعد عملية الأكسدة بالأوزون.

ج) دور الأوزون كمؤكسد:

إن الأوزون من المؤكسدات القوية جدا" (الجدول 4 – 4) ولذلك فإن استعماله في تنقية المياه ليس محصورا" بدوره كمعقم بل كمؤكسد للمركبات العضوية المنحلة التي تقاوم كافة المراحل العادية الجارية في محطة معالجة مياه الشرب.

الجدول 4 – 4: كمون الأكسدة والإرجاع لبعض المؤكسدات المستخدمة في مجال معالجة المياه {34}.

المؤكسد	التفاعل	كمون الأكسدة والإرجاع
O_3	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons O_2 + H_2O$	2. 07 V
H_2O_2	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 4H_2O$	1. 776 V
Cl_2	$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1. 39 V
Cr^{+6}	$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1. 33 V
Mn^{+4}	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{+2} + 2H_2O$	1. 23 V
ClO_2	$ClO_2 + e^- \rightleftharpoons ClO_2^-$	1. 15 V
Fe^{+3}	$Fe^{+3} + e^- \rightleftharpoons F^{+2}$	0. 77 V
O_3	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons O_2 + H_2O$	2. 07 V
H_2O_2	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 4H_2O$	1. 776 V
Cl_2	$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1. 39 V
Cr^{+6}	$Cr_2O_7^{-2} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{+3} + 7H_2O$	1. 33 V
Mn^{+4}	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{+2} + 2H_2O$	1. 23 V
ClO_2	$ClO_2 + e^- \rightleftharpoons ClO_2^-$	1. 15 V
Fe^{+3}	$Fe^{+3} + e^- \rightleftharpoons F^{+2}$	0. 77 V

يستعمل الأوزون في مرحلتين ضمن سلسلة المراحل المطبقة في تنقية مياه الشرب، المرحلة الأولى هي معالجة الماء الخام بالأوزون لإزالة العديد من الملوثات المعدنية القابلة للأكسدة (F^{+2} ، Mn^{+2}،...،... .)، وتحطيم المركبات العضوية الكبيرة، وبالتالي رفع أداء مردود عملية التكتل والترسيب، وتسمى عادة هذه المرحلة بالأكسدة الأولية (Pré-oxydation) أو الأوزنة الأولية (Pré-ozonation). أما المرحلة الثانية فإنها تمثل الأكسدة النهائية وتجري بعد عملية الترشيح للتخلص من المواد العضوية المتبقية في الماء، ولتعقيم الماء.

يتم تفاعل الأوزون مع المركبات المنحلة في الماء وفق الأساليب الآتية:

1 – الأكسدة المباشرة:

عند الأخذ بالحسبان الصيغة الطنينية لجزيء الأوزون، فإن جزيء الأوزون يتفاعل كجزيء قطبي، أو يمكن أن يؤثر في قطبه الموجب الشره للإلكترونات أو بقطبه السالب الدافع للإلكترونات. وضمن مجال الأكسدة المباشرة يمكن أن يسلك الأوزون في تفاعلاته أساليب أخرى مثل:

- **انضمام جزيء الأوزون للمركب العضوي:**

يتفاعل جزيء الأوزون القطبي مع المركبات العضوية غير المشبعة، كمرحلة أولى، معطيا" الأوزونيد (Ozonide):

ضمن الوسط المائي، فإن الأوزونيد يتفكك على مراحل متتالية ليعطي بالنتيجة ألدهيدات أو أسيتونات أو الاثنين معا" والماء الأكسجيني طبقا للتفاعلات الآتية:

- **التفاعل الإلكتروفيلي (الأليف للإلكترونات):**

يحدث هذا التفاعل على المواقع الغنية بالإلكترونات ضمن بنية الجزيئات العضوية المتفاعلة معها، وتعطي المعادلات الآتية نموذجا" لهذا التفاعل مع جزيء عطري:

ويعطي مركبات بارا هيدروكسي أو أورتو هيدروكسي النواة العطرية. وتتمتع تلك المركبات بفعالية عالية مع الأوزون حيث تعطي الكينونات التي بدورها تؤدي إلى تحطيم النواة العطرية وتكوين سلسلة من الحموض الكربوكسيلية والألدهيدات وغيرها.

2 – الأكسدة غير المباشرة أو الأكسدة بالجذور الحرة:

يتفكك الأوزون في الماء معطيا" الجذور الحرة ($OH^{\cdot}$، $HO_2^{\cdot}$،...،... .) النشيطة جدا"، والتي لاتتميز بالانتقائية، بعكس تفاعل تشكل الأوزونيد الانتقائي. ترتبط درجة التفكك أساسا" بقيمة pH الوسط المائي، حيث يزداد التفكك بزيادة قيمة pH الوسط. ونلخص بالشكل (4– 26) أهم الجذور الحرة التي تنتج عن تفكك الأوزون.

الشكل 4 – 26: أهم الجذور الحرة الناتجة عن الأوزون وفعاليتها والوسط المناسب لها.

تعدّ تلك الجذور الحرة مؤكسدات قوية وغير انتقائية وأهمها الجذر $OH^{\cdot}$ الذي يؤكسد بسرعة كبيرة المركبات العضوية الموجودة في الماء الطبيعي.

ويوضح المخطط (الشكل 4 – 27) مختلف فعاليات الأوزون في مجال تنقية المياه.

إغناء الماء بالأكسجين

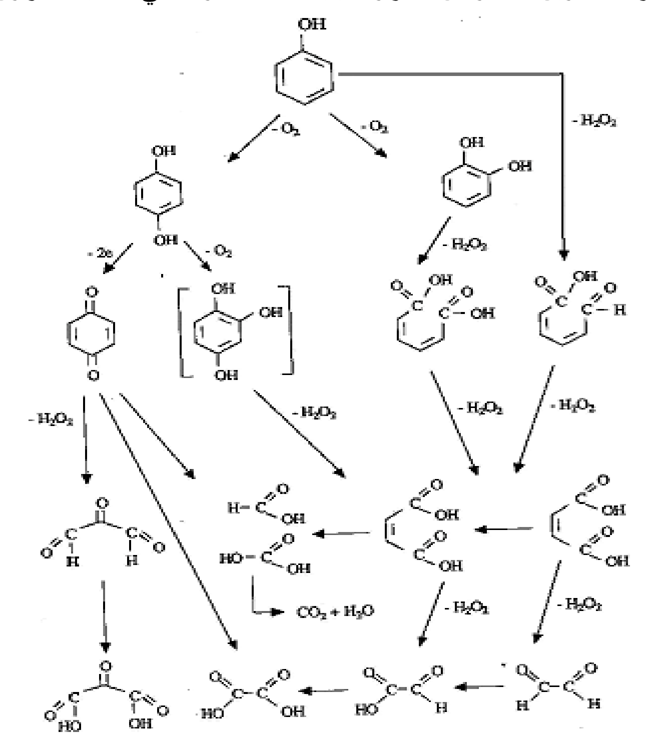
O_3

تعقيم: التفسخ البكتيري – مهاجمة الخلايا – تحطيم بنية الفيروسات

أكسدة: أكسدة مباشرة – تفاعل ضم للجزيء العضوي – أكسدة غير مباشرة

الشكل 4 – 27: مخطط الفعاليات الأساسية للأوزون في مجال معالجة المياه.

ونورد بالشكل(4 – 28) مثالا" على الأكسدة غير المباشرة بالجذور الحرة للفينول. يلاحظ أن الأكسدة بالأوزون للمركبات الفينولية في الوسط المناسب تعطي سلسلة من التفاعلات الكيميائية الناتجة عن وجود الجذور الحرة المتولدة مباشرة من الأوزون أو من التفاعلات الكيميائية التسلسلية إلى مرحلة تكوين الحموض الكربوكسيلية النهائية أو ثنائي أكسيد الكربون.



الشكل 4 – 28: أكسدة الفينول بالأوزون {39}.

د) مقارنة الصفات التعقيمية للأوزون مع الكلور وثنائي أكسيد الكلور:

يصنف وايت (WHITE) الفعالية التعقيمية كالآتي:

$$O_3 > ClO_2 > HOCl > OCl^- > NHCl_2 > NH_2Cl$$

أما في المجال العملي فإنه من الواجب مراعاة تراكيز محددة لكل من المعقمات لتقوم بدورها الفعلي. يعطي الجدول(4 – 5) مقارنة بين ثلاثة معقمات للماء، هي الأوزون وثنائي أكسيد الكلور والكلور في الشروط الطبيعية من الحرارة و pH الوسط.

الجدول 4 – 5: مقارنة تركيز وزمن التلامس اللازمين للتخلص من البكتريا والحمات الراشحة للمعقمات الثلاثة.

المادة المعقمة		الكلور Cl_2	ثاني أكسيد الكلور ClO_2	الأوزون O_3
البكتريا	التركيز اللازم غ/م^3	0.2 – 0.1	0.2 – 0.1	0.2 – 0.1
	الزمن اللازم دقيقة	15 – 10	10 – 5	2 – 1
الفيروسات	التركيز اللازم غ/م^3	0.5 – 0.3	0.5 – 0.3	0.4
	الزمن اللازم دقيقة	40 – 30	30	4

إن فعالية (ClO_2) مشابهة لفعالية (Cl_2) تجاه البكتريا حيث يعمل على إيقاف فعلها التخمري. ويعمل الأوزون على إتلاف الخلية البكترية، إضافة إلى عملية إيقاف النشاط التخمري، أما فعل(O_3) مع الفيروسات فإنه أقل مما هو عليه تجاه البكتريا، لأن الفيروسات لا تملك نشاطا" تخمريا".

4. 5. 3 المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية :

لم ينتشر على نطاق واسع استعمال الأشعة فوق البنفسجية في مجال معالجة المياه، وبقي محدودا" بتعقيم ماء الشرب لبعض المنشأت الصغيرة وفي شروط معينة، ومن ميزات هذه الطريقة أنها لاتحتاج إلى إضافة مواد كيميائية، وبالتالي لا ينتج عنها أي طعم أو رائحة.

الأشعة فوق البنفسجية مبيدة للجراثيم ضمن منطقة محدودة من أطوال الموجة (235.7 نانومتر). والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية لا يكون ناجحا" إلا إذا كان الماء خاليا" من الدقائق المعلقة، لأن وجودها يؤدي إلى صعوبة انتقال الأشعة وبالتالي عدم التأثير المباشر في الأحياء الدقيقة.

الفعل المؤكسد للأشعة فوق البنفسجية ضعيف جدا" إذا كانت بمفردها، أما في حالة اقترانها مع مؤكسد آخر كالأوزون أو الماء الأكسجيني فإنها تعطي نتائج ممتازة في أكسدة المركبات العضوية التي في الماء، أما الغاية من عملية الاقتران فهي رفع فعالية المؤكسد بتوليد الجذور الحرة وخاصة، الجذر الفعال جدا" ($OH^{\cdot}$) نتيجة وجود الأشعة فوق البنفسجية مع المؤكسد. ونورد فيما يلي تفاعلات اقتران الأشعة فوق البنفسجية مع كل من الأوزون والماء الأكسجيني:

$$O_3 + H_2O + h\nu \longrightarrow O_2 + 2\,OH^{\cdot}$$

$$H_2O_2 + h\nu \longrightarrow 2\,OH^{\cdot}$$

علما أن الجذور الحرة المتولدة ($OH^{\cdot}$) تطلق سلسلة من التفاعلات مع المواد العضوية أو مع المؤكسد ذاته مولدة سلسلة لا تنتهي من الجذور الفعالة داخل الجملة.

4 .5 .4 طرائق الأكسدة المتقدمة(Procédés d'Oxydation Avancés):

1- الأكسدة الوسيطية :

الأكسدة الوسيطية في الوسط العضوي معروفة ومستعملة على نطاق واسع جدا" في مجال الصناعات الكيميائية وصناعة النفط. أما استعمال الأكسدة الوسيطية في مجال معالجة المياه، فإنه مازال محدودا" جدا".

ضمن عملية البحث عن وسائل جديدة للتخلص من الملوثات العضوية في مياه الشرب أو معالجة بعض الملوثات الناتجة عن الصناعة، إضافة إلى أن الطرائق المتبعة في معالجة المياه لم تصل إلى تخفيض الكربون العضوي الكلي (COT) إلى الحد المطلوب، ضمن كل تلك العوامل برزت الأكسدة الوسيطية كحل ممكن للتخلص من الملوثات العضوية غير القابلة للأكسدة في النظم المتبعة (كلور، أوزون،....،... .) ولتخفيض قيمة الكربون الكلي في المياه المعالجة بنسبة أعلى بكثير من نظم المعالجة الأخرى.

ولكن رغم تلك الإيجابيات للأكسدة الوسيطية، فإن هناك صعوبات في تطبيقها تتمثل بالآتي:

- التركيز المنخفض للملوثات العضوية، وخاصة في مياه الشرب.
- عدم إمكانية التحكم في درجة حرارة التفاعل، نظرا إلى أن منظومات الأكسدة يجب أن تعمل في درجة حرارة الجو العادية التي تتبدل بشكل واسع بين الصيف والشتاء.
- تحرير شوارد معدنية غير مرغوب فيها أحيانا"، وخاصة في مجال تنقية مياه الشرب.

إن محطات المعالجة يمكنها أن تزيل 70 إلى 80% من الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) للمركبات القابلة للأكسدة. أما الطرائق الخاصة المتبعة لتخفيض قيمة (DCO أو

COT)، مثل الفصل بأغشية الضغط التناضحي أو الامتزاز على الفحم المنشط أو الأكسدة فهي فعالة ولكنها ذات كلفة اقتصادية عالية، ويمكن أن يكون الحل الأفضل هو الأكسدة الوسيطية التي أثبتت فعاليتها في التخلص من الكربون العضوي، إضافة إلى أن كلفتها الاقتصادية أقل بكثير من النظم الأخرى.

إن أهم طرائق الأكسدة الوسيطية التي دخلت مجال معالجة المياه هي:

– نظام الماء الأكسجيني مع شوارد الحديدي (H_2O_2 / Fe^{+2}) والمعروف بكاشف فانتون (Reactif Fenton).

– نظام الماء الأكسجيني مع وسيط صلب غير منحل، أي وساطة غير متجانسة (Catalyse Hétérogène)، والوسيط المستخدم أكسيد معدني (أكسيد الحديد، أكسيد النحاس، أكسيد التيتانيوم،...،... .) المتشرب على سطح حامل يمكن أن يكون الألومين.

– نظام الأكسدة الوسيطية للأوزون بوجود وسيط غير متجانس (O_3 / Cata.)

– نظام الماء الأكسجيني مع الأشعة فوق البنفسجية (H_2O_2 / UV)

– نظام الأوزون مع الأشعة فوق البنفسجية (O_3 / UV)

آ) الأكسدة الوسيطية المتجانسة (H_2O_2 / Fe^{+2}):

كان هذا النظام هو أول نظام أكسدة وسيطية استخدم في معالجة المياه، من سلبيات هذا النظام هو تحريره لشوارد الحديد في الوسط المائي، غير أنه بالإمكان تحويل هذا المعامل السلبي إلى معامل إيجابي في حالة استثمار تلك الشوارد المحررة بمرحلة تخثير وتكتيل تلي مرحلة الأكسدة الوسيطية.

إن وجود الماء الأكسجيني في وسط يحتوي شوارد الحديدي (Fe^{+2}) يعطي سلسلة من التفاعلات المولدة والمستهلكة للجذور الحرة يمكن تلخيصها بالتفاعلات الآتية:

$$H_2O_2 + Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} + OH^- + OH^{\cdot}$$

$$H_2O_2 + Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2} + H^+ + HO_2^{\cdot}$$

$$HO_2^{\cdot} \rightarrow O_2 + H^{\cdot}$$

$$2\ H_2O_2 \xrightarrow{Fe^{+2} / Fe^{+3}} O_2 + 2H_2O$$

ولكن بوجود مركبات عضوية في الوسط قابلة للأكسدة، وقادرة على اصطياد الجذور الحرة، يمكن أن تحدث التفاعلات الوسيطية الآتية:

$$H_2O_2 + Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} + OH^- + OH^\cdot$$

$$R - H + OH^\cdot \rightarrow R^\cdot + H_2O$$

$$R^\cdot + Fe^{+3} \rightarrow R^+ + Fe^{+2}$$

$$R^+ + OH^- \rightarrow R - OH$$

$$H_2O_2 + RH \rightarrow R - OH + H_2O$$

لقد أعطت الأبحاث التي أجريت في مخابر معالجة المياه بجامعة بواتييه في فرنسا {4} أنه يمكن تصنيف المركبات العضوية من حيث قابليتها للأكسدة الوسيطية بنظام (H_2O_2 / Fe^{+2}) إلى أربع مجموعات هي:

- المجموعة الأولى وتتكون من المركبات العضوية المشبعة والتي لا تتفاعل مع الجذور الحرة ($OH^\cdot$)، وفي هذه الحالة فإن اختفاء الماء الأكسجيني محدود بالتركيز الأساسي لشوارد الحديدي.

- المجموعة الثانية: تضم مركبات عضوية تعطي عند أكسدتها في المرحلة الأولى مركبات ثانوية قادرة على إرجاع الحديد الثلاثي إلى الحديد الثنائي وبالتالي استمرار عملية تفكك الماء الأكسجيني واستمرار توليد الجذور الحرة من جديد. مثل مركب الفينول الذي يعطي بتفاعله مع الجذور الحرة ($OH^\cdot$) مركبات الهيدروكينون التي تتميز بدور المرجع لشوارد الحديد الثلاثية إلى الحديد الثنائي.

- المجموعة الثالثة: تضم مركبات قادرة على إرجاع الحديد الثلاثي إلى الحديد الثنائي ولكن بسرعة بطيئة، مما يحد من السرعة الكلية للأكسدة الوسيطية. ونذكر على سبيل المثال الحموض الكربوكسيلية العضوية.

- المجموعة الرابعة: تضم المركبات التي تعطي عند أكسدتها مركبات ثانوية غير قادرة على إرجاع الحديد الثلاثي، وبالتالي يكون التفاعل محدودا" بالمرحلة الأولية للأكسدة.

جرى استعمال هذا النظام من الأكسدة بفعالية في معالجة المياه المحملة بالملوثات الفينولية (مخلفات معاصر الزيتون)، وذلك باستثمار شوارد الحديد كوسيط من جهة وكمخثر في مرحلة ما بعد الأكسدة الوسيطية.

تطبيق طريقة الأكسدة الوسيطية H_2O_2 / Fe^{+2} في معالجة المياه:

تتضمن هذه الطريقة أربع مراحل أساسية:

- مرحلة ضبط حموضة الوسط.
- مرحلة الأكسدة.
- مرحلة التعديل.
- مرحلة التكتيل والترسيب.

استعملت هذه الطريقة في إزالة النفتالين من المياه الخام في محطات مياه الشرب، حيث أزالت 99% من النفتالين في وسط حمضي. كما استعمل هذا النظام في إزالة الملوثات العضوية من مخلفات صناعات عديدة نذكر منها:

- إزالة اللون من مخلفات مصانع الأصبغة.
- التخلص من مركبات سامة مثل ثلاثي ميتيل التولوين وثنائي نترو الفينول وكلور البنزن ورباعي كلور الإتيلين و كلور الفينول والمركبات الهالوجينية للألكانات.

ب) الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة (نظام H_2O_2 / Cata.):

مازال استعمال الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة (سائل – صلب) في مجال معالجة المياه محدودا"، ولكنها تؤمن حلولا" لبعض حالات المعالجة الخاصة والتي تعجز الطرائق التقليدية أو الأكسدة المباشرة عن حلها.

ولقد أعطت نتائج الأبحاث التي أجريت في جامعة بواتييه {4} نتائج جيدة في مجال أكسدة الفينولات والحموض العضوية المنحلة في المياه، حيث تم الحصول على نسبة تفكك في الكربون العضوي الكلي (COT) لا بأس بها (50% إلى 90%) بشكل متوسط. وقد تم اقتراح آلية تفاعل على سطح الوسيط الصلب المكون من مراكز فعالة معدنية محملة على الألومين، حيث تمتز المركبات العضوية المنحلة على سطح الوسيط وفق الآتي:

من جهة أخرى فإن الماء الأكسجيني يمتز أيضا على سطح الوسيط كما هو وارد في المعادلة:

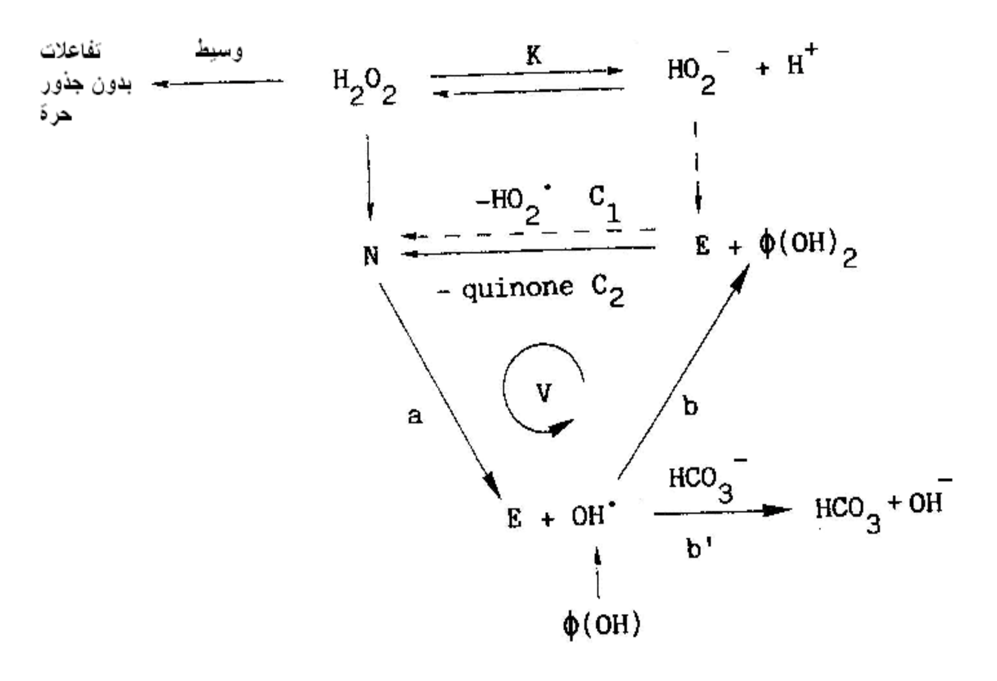
$$H_2O_2 + M \longrightarrow HO-M-OH \quad \text{أو} \quad HO-M \;\; HO-M$$

وهكذا، يمكن حدوث تفاعل كيميائي بين الأجزاء الممتزة من المؤكسد والأجزاء الممتزة من المركبات العضوية على سطح الوسيط، ويؤدي الحامل(الألومين) دورا" إضافيا"، لتمتعه بالقدرة على امتزاز المركبات العضوية والقيام بدور الوسيط أيضا":

حيث تتفاعل الجذور الممتزة على الألمنيوم مع الماء الأكسجيني الممتز على المراكز المعدنية المجاورة لها.

ويمكن للماء الأكسجيني المنحل أن يتفاعل مع الأكسجين المرتبط بذرة المعدن على سطح الوسيط وينتج فوق المركبات (Percomposés) التي تتفاعل بدورها مع المركبات العضوية المنحلة في الماء وتؤكسدها كما هو مقترح بالمعادلات الآتية:

يمكن من خلال النتائج التي تم الحصول عليها، اقتراح المخطط الوارد في الشكل (4 – 29) لحركية تفاعل الأكسدة الوسيطية للماء الأكسجيني مع وسيط غير متجانس.



الشكل 4 – 29: مخطط حركية الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة للماء الأكسجيني {4}.

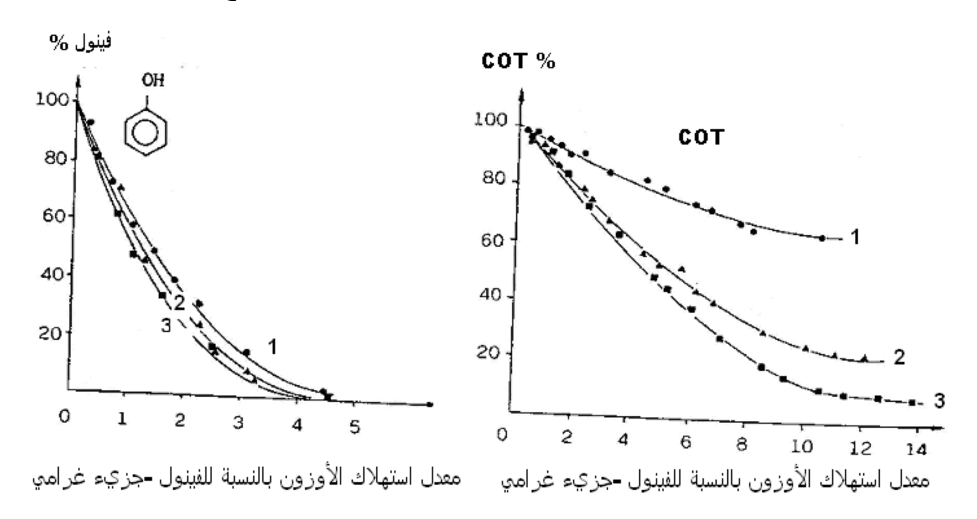
إن السرعة الكلية لتفاعل الأكسدة الوسيطية تنتج عن سرعات تفاعل لمختلف المراحل (a,b b` , c)، حيث سرعة التفاعل في المرحلتين (a و b) أكبر بكثير من سرعة التفاعل في المرحلة (c)، وبالتالي هي التي تحدد السرعة النهائية.

يمكن للمرحلة (c) أن تتم إما بالاتجاه (c_1) الموافق لامتزاز الشوارد (HO_2^-)على المراكز أليفة الإلكترونات (E) وتشكيل الجذور الحرة ($HO_2^\bullet$) والمراكز أليفة النواة (N). أو أن المرحلة (c) تحدث بالاتجاه (c_2) الموافقة لإرجاع المركبات الالكتروفيلية (E) بمركبات عطرية عديدية الهيدروكسيل (الهيدروكينون). ولكن هذا النظام مازال محدود الانتشار.

ج) الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة (نظام .Cata / O_3):

رغم أن الأوزون يعد من أفضل المؤكسدات المستعملة في معالجة المياه، فإن هناك ملوثات عضوية مهمة مقاومة له، إضافة إلى أن مركبات أخرى تتأكسد بالأوزون وتعطي مركبات ثابتة ومقاومة للأكسدة، مما يؤدي إلى مردود ضعيف في تفكك الكربون العضوي الكلي (COT). على سبيل المثال فإن أكسدة الفينول بالأوزون في الوسط المائي يؤدي إلى اختفاء سريع للفينول، دون أن يكون مرافقا" باختفاء مهم للكربون الكلي (أقل من 50%). لذلك فإن إضافة الوسيط مع الأوزون يكون حلا" للتخلص من المركبات المرحلية الناتجة عن أكسدة الفينول.

يعطي الشكل (4 – 30) مقارنة بين أكسدة الفينول بالأوزون فقط والأكسدة الوسيطية على الألومين والأكسدة الوسيطية على الألومبين المشرب بأكسيد الحديد والمعالج حراريا".



1 – أوزون فقط 2 – أوزون + ألومين 3 – أوزون + وسيط من الحديد على الألومين

الشكل 4 –30: مقارنة اختفاء الفينول وتفكك الكربون العضوي في ثلاثة نظم أكسدة، بدلالة الأوزون المستهلك بالنسبة للفينول {3}.

توضح النتائج الواردة على المنحنيات البيانية (الشكل 4 – 30) أن سرعة اختفاء الفينول في حالة وجود الوسيط أسرع من حالة الأوزون بمفرده ولكن بفارق بسيط، أما سرعة تفكك الكربون العضوي الكلي والذي لم يتجاوز 50 % في حالة الأكسدة بالأوزون فقد تجاوز 90% في حالة الأكسدة الوسيطية مع الأوزون مما يؤكد الفعالية العالية للأكسدة الوسيطية في التخلص من الملوثات العضوية وتحويلها إلى ماء وثنائي أكسيد الكربون (أكسدة تامة).

إن الفرق في سرعة التفاعل والمردود النهائي بين (نظام O_3 / Alumine) و(نظام O_3 / Cata.) يمكن تفسيره بقدرة الوسيط على تفكيك الماء الأكسجيني الناتج عن تفاعل الأوزون والفينول، وإعطاء جذور حرة فعالة في الوسط المائي وعلى سطح الوسيط المعدني.

يستخدم في نظام الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة (O_3 / Cata.) مفاعل ثلاثي الأطوار (غاز – سائل – صلب)، وهو مفاعل معروف تماما" في الصناعات الكيميائية. يؤلف الوسيط الطور الصلب ويمكن أن يكون في هيئة طبقة ثابتة يعبره التيار المائي (الوسط السائل) من الأعلى للأسفل، أو يكون على شكل حبيبات معلقة ضمن السائل العابر للمفاعل من الأسفل إلى الأعلى، أما الطور الغازي فيتكون من الهواء الأوزوني والغازات الناتجة عن التفاعل. ويتمتع الوسيط المحضر ضمن شروط جيدة بعمر استثماري يصل إلى عامين. ولم ينحصر الفعل

الوسيطي في رفع مردود تفكك الكربون العضوي، بل خفض معدل استهلاك الأوزون (مرتين إلى ثلاث مرات) أيضا. ويوضح الجدول (4 – 6) الفرق بين نظام الأكسدة باستعمال الأوزون فقط، والأكسدة الوسيطية للأوزون لمياه صرف صناعية ذات حمولة عالية بالمركبات العضوية.

الجدول 4 – 6: مقارنة الأكسدة الوسيطية مع الأكسدة بالأوزون بمفرده على مياه منشأة صناعية محملة بالحمولة العضوية (DCO int = 11. 9 g / l) وزمن التفاعل ساعتان {3}.

المعامل	تفكك(إزالة) % DCO	معدل التفكك غرام من DCO لتر/ساعة	استهلاك الأوزون غرام من الأوزون لكل غرام من DCO مزالة
أكسدة بالأوزون	30	1.7	3
أكسدة وسيطية (O3 / Cata)	63	3.7	0.7

وقد أعطى هذا النظام نتائج جيدة على مياه صرف صناعية مختلفة، حيث تراوح معدل التفكك(الإزالة) للمواد العضوية المعبر عنه بالطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) بين 0.3 إلى 5 كغ للمتر المكعب في الساعة مع معدل استهلاك للأوزون تراوح بين 1 إلى 3 غرام لكل غرام مزال من (DCO)، أي أنه أقل بمرتين إلى ثلاث مرات من حالة الأكسدة بالأوزون.

وتتلخص ميزات استعمال نظام الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة بوجود الأوزون بالآتي:

- انخفاض معدل استهلاك الأوزون.
- رفع مردود تفاعل الأكسدة.
- تكلفة كلية أقل بكثير من النظم الأخرى المستخدمة للتخلص من الملوثات العضوية.
- إمكانية العمل في درجة الحرارة العادية.

د) أكسدة ضوئية وسيطية غير متجانسة (UV / TiO2):

تعتمد تقنية التفاعل الضوئي الوسيطي غير المتجانس على تشعيع وسيط صلب (TiO_2)، حيث يحرض السطح الوسيطي ضوئيا" محدثا"مراكز مانحة للإلكترون أو مستقبلة للإلكترون وكذلك إطلاق تفاعلات أكسدة وإرجاع. إن ثنائي أكسيد التيتانيوم (TiO_2) يعد مناسبا" جدا" للاستعمال كوسيط في معالجة المياه لكونه خاملا" من الناحية الكيميائية والحيوية وسهل التصنيع وقليل الكلفة وفعالا" جدا" للتفاعلات الوسيطية الضوئية. إضافة إلى ذلك فإنه يملك فجوة طاقية متناسبة

مع الطاقة التي يعطيها الفوتون الشمسي (E_{gap} TiO2 = 3. 2 - 3 V)، علما أن الجزء الطاقي الشمسي الممتص من مرتبة 6% (UV < 380 nm). بعد عملية التشعيع للوسيط فإن المواد الفعالة الناتجة (فوتونات) يمكنها أن تؤكسد مباشرة الملوثات العضوية الممتزة على سطح الوسيط. أو أكسدة شوارد الهيدروكسيل الممتزة على السطح وتحويلها إلى جذور هيدروكسيلية. ويحدث تفاعل الأكسدة على سطح الوسيط مباشرة أو عن طريق الجذور الحرة المتكونة. وإذا أضيف الأوزون أو الماء الأكسجيني ضمن المفاعل فإن الأشعة تقوم بدور إنتاج الجذور الحرة بالتفاعل الضوئي معهما.

يمكن استعمال الوسيط إما في هيئة حبيبات معلقة ضمن السائل أو طبقة ثابتة يعبرها الماء المراد معالجته. علما" أن خيار تقنية الطبقة الثابتة أو الوسيط المعلق ضمن السائل مرتبطة بالمصدر الإشعاعي ونوعية وتركيز الملوثات العضوية وكذلك مواصفات المفاعل. يجب أن يسمح تصميم المفاعل بتوزيع متجانس للأشعة على سطح الوسيط الكامل، وأن تؤخذ في الحسبان التخلص من المقاومة العائدة لانتقال المادة، أما قيمة (pH) المناسبة فإنها متعلقة بنوعية الملوثات العضوية، ففي حالة الملوثات ضعيفة الحموضة، فإن مردود تفاعل الأكسدة الوسيطية الضوئية يزداد مع نقصان قيمة (pH) الوسط لأن ذلك يؤدي إلى انخفاض القطبية وتسهيل امتزاز المركبات على سطح الوسيط. يحدث في حالة الأكسدة الضوئية الكيميائية أن الإشعاعات العابرة للوسط المائي تتفاعل مباشرة مع المركبات العضوية المنحلة وتحرضها بحيث تتفاعل مع الأكسجين المنحل وتشكل مركبات مرحلية:

$$R \xrightarrow{h\nu} R^*$$

الفائدة الأساسية من الأكسدة الضوئية الوسيطية تكمن في كونه فعالا" مع مجال واسع من المركبات العضوية، ولاسيما المركبات المقاومة لأكسدة المؤكسدات المستعملة أو التي تتأكسد بصعوبة، كما أن هذه الطريقة قادرة على تحويل المركبات المعدنية السامة إلى مركبات أقل سمية، مثل شوارد النتريت التي تتحول إلى نترات والكبريتيت إلى كبريتات والسيانيد إلى ثنائي أكسيد الكربون وغيرها. كما ويمكن لهذه الطريقة إتلاف الأحياء الدقيقة. أما في حالة الحمولة العالية من الملوثات العضوية (800 mg / l < DCO) فإن امتصاص الأشعة الكثيف من قبل الحمولة العضوية يفقد الطريقة فعاليتها.

2 – نظم الأكسدة المشتركة (Systemes Oxydants Combinés):

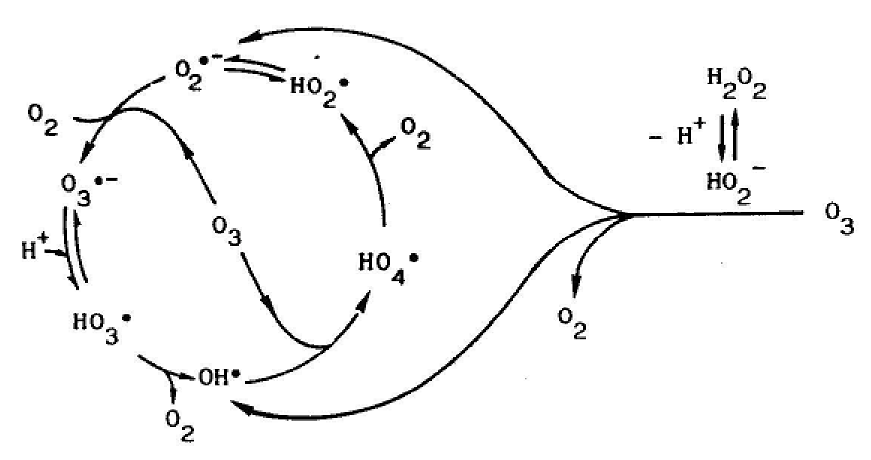
آ) نظام الأكسدة H_2O_2 / O_3:

يعتمد مبدأ هذه الطريقة على تفاعل الأوزون مع الماء الأكسجيني وإعطاء جذور حرة فعالة، وهي أكثر فعالية من الأوزون منفردا"، حيث يساهم الماء الأكسجيني في تفكك الأوزون وتوليد كميات كبيرة من الجذور الحرة.

$$H_2O_2 \rightleftharpoons HO_2^- + H^+$$

$$O_3 + HO_2^- \longrightarrow O_2 + OH^{\cdot} + O_2^{\cdot -}$$

وبعد تفاعل الأوزون مع الشاردة (HO_2^-) وإعطاء الجذر الحر ($OH^{\cdot}$) تبدأ سلسلة تفاعلات جذرية مع الماء الأكسجيني والأوزون، وفيما يلي دورة تلك التفاعلات: {39}



تطبيق هذه الطريقة في معالجة المياه:

إن هذا النظام من الأكسدة فعال في إزالة الملوثات العضوية السامة (المبيدات، الهيدروكربون، ....،... .) التي تكون في مياه الشرب ومياه الصرف الصناعية والمياه الجوفية، ويكون موقعه في محطة المعالجة بين المرشح الرملي والمرشح على الفحم المنشط، حيث يؤكسد الملوثات العضوية ويزيلها (ولاسيما المبيدات) قبل الترشيح على الفحم المنشط، مما يطيل في عمر استثمار الفحم المنشط.

وتجرى عملية الأكسدة مع زمن تماس في المفاعل بحدود عشر دقائق مع تحكم في ضخ الأوزون بحيث تبقى نسبة الأوزون إلى الماء الأكسجيني ثابتة، علما" أن تركيز الماء الأكسجيني في الماء المعالج يجب ألا يتجاوز (0.5 مغ / لتر)، وهذه الطريقة أثبتت فعاليتها على المستوى الصناعي وهي مستخدمة في أكبر محطات معالجة مياه الشرب في فرنسا للتخلص من المبيدات.

ب) نظام الأكسدة (H_2O_2 / UV):

تتميز نظم الكيمياء الضوئية (Photochimique) بأنها سهلة الاستثمار ونظيفة و قليلة الكلفة، ولها قدرة تعقيمية إضافة إلى قدرتها على الأكسدة. وقد تطورت تلك النظم في السنوات الأخيرة لتحل محل تقنية الامتزاز على الفحم المنشط أو تقنية التحلل الحيوي (Biodégradation). إن عملية المشاركة بين (UV) ومؤكسدات قوية (O_3 , H_2O_2) تسمح بتفكيك الملوثات العضوية بثلاث طرائق مختلفة هي:

- تحلل ضوئي بالأشعة فوق البنفسجية لتحريض الجزيئات وتفككها.
- أكسدة مباشرة بالمؤكسدات (O_3 , H_2O_2).
- أكسدة بالجذور الحرة المتولدة عن فعل الأشعة على المؤكسدات.

التحلل الضوئي للماء الأكسجيني بوجود أشعة يتراوح طول موجتها بين 200 و 300 نانومتر، يحدث تحطيم للرابطة (O - O) في جزيء الماء الأكسجيني ويقود إلى تكوين الجذر الهيدروكسيلي:

$$H_2O_2 \xrightarrow{h\nu} 2\,OH^{\cdot}$$

ويُحدث بدوره سلسلة من التفاعلات المنتجة للجذور الحرة.

إن سرعة تكوين الجذور الحرة متعلقة بعدة عوامل منها قيمة (pH) الوسط ومواصفات مصباح الأشعة (مجال الإصدار، الطاقة) ومواصفات الوسط المائي (معامل نقل الأشعة، درجة العكاره)، وتكون التفاعلات أسرع في وسط قلوي، حيث إن سرعة التفاعل في وسط قيمة (pH) فيه أقل من 10 تكون صغيرة، ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالامتصاص المرتفع للأشعة فوق البنفسجية من قبل شوارد (HO_2^-).

تستخدم هذه التقنية في مجالات عديدة نذكر منها:

- إزالة الملوثات من المياه السطحية.
- إزالة السيانيد من المياه الجوفية.
- إزالة ملوثات عضوية ضارة، مثل ثلاثي كلور الإتيلين، رباعي كلور الإتيلين، البنزن...،...،... .
- في عملية التعقيم.

ج) نظام الأكسدة (O_3 / UV):

يمتص الأوزون في وسط مائي الأشعة فوق البنفسجية، ويحدث الامتصاص الأعظمي عند طول الموجة (253.7 نانومتر)، ويؤدي هذا التفاعل إلى تكوين جذور حرة فعالة في الأكسدة وفي إتلاف الأحياء الدقيقة:

$$O_3 + H_2O \xrightarrow{h\nu} 2\,OH^{\cdot} + O_2$$

وهذه المعادلة تتبعها سلسلة معادلات كيميائية مكونة للجذور الحرة ومستهلكة لها، وقد استُعمل هذا النظام في إزالة المركبات العضوية الكلورية القابلة للتطاير، وفي معالجة المخلفات السائلة لعدد من الصناعات الكيميائية ولاسيما إزالة االمواد الملونة، وصناعة الورق وصناعة استخلاص الزيوت.

3- مقارنة فعالية طرائق الأكسدة المتقدمة وميزاتها:

نورد في الجدول (4 – 7) مقارنة لبعض نتائج استخدام نظم الأكسدة المتقدمة في إزالة الملوثات العضوية الموجودة في المياه السطحية التي تعجز عن التخلص منها طرائق الأكسدة المباشرة (أوزون، كلور).

الجدول 4 – 7: مقارنة بين فعالية نظم الأكسدة المتقدمة.

مصدر الماء	نوع الملوث	طريقة الأكسدة	النتائج
آبار	مبيد أعشاب و Atrazine	H_2O_2 / O_3	إزالة 80% من مبيد الأعشاب، إزالة 99% من Atrazine
ماء شرب	Acide Clofibrique Ibuprofen Dichlorfenac	H_2O_2 / O_3	بعد 30 دقيقة من التماس إزالة: 10 % Acide Clofibrique 30 % Ibuprofen 100 % Dichorfenac
مخلفات سائلة لإزالة الشوارد	ملونات	H_2O_2 / O_3	بعد 30 دقيقة من التماس: إزالة اللون بنسبة 27% في وسط حمضي، و 57% في وسط قلوي.
محلول مائي	فينول	H_2O_2 / O_3	بعد 80 دقيقة من التماس: إزالة الفينول بنسبة 80% في وسط حمضي و 93% في وسط معتدل وقلوي.
ماء مقطر	Paracétamol	UV / H_2O_2	إزالة كاملة
محلول مائي	Acide Clofibrique	UV / H_2O_2	إزالة كاملة
محلول مائي	ملونات	UV / H_2O_2	إزالة كاملة للون بعد 50 دقيقة من التماس.
آبار	Atrazine	H_2O_2/ Fe^{+2}	إزالة 75%
مخلفات صناعية	p-Chlorophénol	H_2O_2/ Fe^{+2}	نسبة الإزالة متعلقة بتركيز شوارد الحديدي
محلول مائي	Benzène Sulfonate de Sodium	H_2O_2/ Fe^{+2}	إزالة 100% للمركبات خلال 60 دقيقة وإزالة 40% من COT خلال 4 ساعات
محلول مائي	فينولات ، وأكاسيد عضوية، ألدهيدات	H_2O_2 / Cata وسيط غير متجانس	إزالة كاملة للمركب الكيميائي الأساسي، إزالة نسبة عالية من COT تبعا للوسيط المحضر وتصل إلى 90%.
محلول مائي	فينولات، أكاسيد	O_3 / Cata وسيط غير	إزالة كاملة للمركبات الأساسية

	عضوية، ألدهيدات	متجانس	خلال أقل من 30 دقيقة، إزالة أكثر من 90% من COT خلال فترة تماس أقل من ساعة
ماء مقطر	Bisphénol A (BPA)	TiO_2 / UV	إزالة كلية بعد 20 ساعة
مخلفات صناعية	مواد ملونة	TiO_2 / UV	إزالة 75% بين 60 و 240 دقيقة

تستعمل النظم المتطورة للأكسدة للتخلص من الملوثات العضوية التي تتمتع بسرعة تفاعل بطيئة في الأكسدة العادية. ونلخص في الجدول (4 – 8) أهم الميزات الإيجابية والسلبية لنظم الأكسدة المتقدمة (POA).

تتزايد يوما" بعد يوم كميات الملوثات العضوية الداخلة إلى محطات معالجة مياه الشرب والناتجة عن مختلف الصناعات التي تؤثر سلبا في البيئة المائية وصحة الإنسان. وتعدَ طرائق الأكسدة المتقدمة حلا" مقبولا" لإزالة تلك الملوثات، رغم تلك الميزات فإن استخدام تلك الطرائق في سلسلة معالجة المياه مازالت محدودة نتيجة ارتفاع كلفة الإنشاء والاستثمار مقارنة بالطرائق التقليدية.

الجدول 4 – 8: الميزات الإيجابية والسلبيات لأنظمة الأكسدة المتقدمة.

الطريقة	ميزات إيجابية	السلبيات
O_3/ UV	مؤكسد قوي، توليد جذور حرة، تكوين ماء أكسجيني يؤدي إلى زيادة فعالية التعقيم	تفاعلات محدودة بانحلالية الأوزون، فعالية وعمر المصباح محدودة، أكسدة كلية غير مضمونة.
H_2O_2/ Fe^{+2}	مؤكسد قوي، إزالة لون المحلول بسرعة، أكسدة كاملة للملونات العضوية	يتطلب نسبة ثابتة من الماء الأكسجيني، إمكانية إرجاع المؤكسد محدودة، صعوبات في نقل وتخزين والتعامل مع الماء الأكسجيني
UV / H_2O_2	مصدر مهم ومباشر لجذور الهيدروكسيل الحرة	صعوبات في النقل والتخزين والتعامل مع الماء الأكسجيني، عمر محدود للمصباح، معامل امتصاص ضعيف للماء الأكسجيني، إنتاج مركبات ثانوية.
H_2O_2 / Cata وسيط غير متجانس	مؤكسد قوي، امتزاز على الحامل والمعدن وتفاعلات أكسدة على سطح الوسيط، تكوين جذور حرة فعالة، إزالة نسبة عالية من الكربون العضوي الكلي.	الحاجة لعملية إزالة الشوارد المعدنية، الحاجة إلى مفاعل خاص، كلفة اقتصادية مرتفعة نسبيا.
O_3 / Cata وسيط غير متجانس	مؤكسد قوي، امتزاز على الحامل والمعدن وتفاعلات أكسدة على سطح الوسيط، تكوين جذور حرة فعالة، إزالة نسبة عالية من الكربون العضوي الكلي. استهلاك أوزون أقل من حالة الأوزون المنفرد.	الحاجة لعملية إزالة الشوارد المعدنية، الحاجة إلى مفاعل خاص، كلفة اقتصادية مرتفعة نسبيا.

الفصل الخامس

مراحل تنقية مياه الشرب

الخطوة الأولى في تحديد مراحل تنقية مياه الشرب، هي دراسة خواص المياه الخام المراد معالجتها لإنتاج مياه صالحة للشرب، ويشمل ذلك الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية، والتعرف على نوعية ومستوى التلوث في الماء، ولذلك فإن الدراسة التحليلية لعينات مختلفة من الماء الخام، ولفترة طويلة تشمل فترات من النهار مختلفة و الفصول الأربعة، تكون مهمة جدا" وضرورية لتصميم محطة التنقية. إن تحديد مراحل التنقية، ونوعية كل مرحلة متعلق أساسا" بنوعية الماء الخام، ونوعية الماء المطلوب بعد التنقية. علما" أن هناك مراحل عامة وأساسية لتحضير مياه الشرب انطلاقا من المياه السطحية (أنهار، بحيرات)، ونعرض هنا هذه المراحل، إضافة إلى مراحل معالجة خاصة أصبحت ضرورية مع ظهور أنواع من الملوثات ضمن المياه السطحية.

5. 1 العمليات الأولية للتخلص من المواد المحمولة الكبيرة والزيوت:

تختلف هذه المرحلة الأولية تبعا لمصدر الماء الخام، فالمياه الجوفية والينابيع لا تتعرض، إلا في حالات خاصة، إلى مثل هذه العمليات. أما المياه السطحية (أنهار، بحيرات) فإنها تتطلب عملية إزالة المواد المحمولة الكبيرة.

5. 1. 1 فصل المعلقات بالشباك (Dégrillage):

تؤمن هذه المرحلة فصل الجسيمات كبيرة الحجم بدلالة أبعاد ثقوب الشباك(الغربال)، وتحدد أبعاد الثقوب بحيث تفصل أكبر نسبة من المعلقات مع المحافظة على عدم حدوث انسداد لتلك الثقوب. وتتعلق فعالية الشباك بأبعاد فتحاتها، ويمكن تصنيفها كالآتي:

- عملية فصل أولية باستخدام شباك أبعاد فتحاتها تتجاوز 50 مم.
- شباك تتراوح أبعاد فتحاتها بين 10 مم إلى 40 مم.
- شباك تتراوح أبعاد فتحاتها بين 3 مم إلى 10 مم.
- شباك أبعاد فتحاتها أقل من 3 مم.

- فصل دقيق حيث تكون أبعاد الفتحات أقل من 500 ميكرومتر.

تستخدم عادة عدة أنواع من تلك الشباك في الوقت نفسه وتوضع على التوالي من الفتحات الأكبر إلى الأصغر باتجاه تدفق الماء. ويعطي الشكل (5 – 1) صورة لنظام فصل المعلقات بالشباك.



شكل 5 – 1:صورة لنظام فصل المعلقات بالشباك (Dégrilleur **) لمحطة معالجة المياه.**

5. 1. 2 فصل الرمل المحمول في المياه الخام:

تهدف هذه المرحلة إلى التخلص من الرمل والأتربة المحمولة ضمن المياه الخام، لتفادي تأثيرها السلبي في التجهيزات، هناك عدد من الأحواض المستخدمة لفصل الرمل (Dessableur) منها الأحواض العادية على هيئة قناة ضيقة أوالأحواض المستطيلة أوالدائرية، وتستعمل مع تحريك هوائي أو دونه وفقا" لنوعية المياه، وفي جميع تلك التجهيزات، تتجمع الجسيمات والشوائب في قعر الحوض وتزال يدويا" أو بمضخات خاصة، وإن تحديد أبعاد الحوض يعتمد على القاعدة التي تفترض التخلص من 80% من الرمل الذي تزيد أبعاد حُبيباته على 200 ميكرومتر. أما التخلص من حُبيبات الرمل الصغيرة (أقل من 200 ميكرومتر) فيمكن أن تحدث بإبقائها بالحالة المعلقة على السطح بالتحريك الهوائي والتخلص منها بإزالة الطبقة السطحية، يمكن للرمل المترسب أيضا" أن يحتوي مواد عضوية ملتصقة بحبيباته، ويعطي الشكل (5 – 2) صورة لقناة التخلص من الرمال.



الشكل 5 – 2: قناة التخلص من الرمل (Dessableur).

5. 1. 3 حوض إزالة الزيوت والشحوم (Degraisseur):

يسمح هذا الحوض بالتخلص من الزيوت والشحوم الطافية على سطح الماء، وهناك نوعان من أحواض الإزالة، نوع ساكن، ونوع مهوى. والنوع الثاني هو الأكثر انتشارا" والأكثر فعالية، وتجري إزالة الفحوم الهيدروجينية والزيوت الطافية على السطح باستعمال طرائق مختلفة، ولكن أكثرها شيوعا، الجهاز المعتمد على الإزالة الميكانيكية للزيوت باستعمال شفرات بلاستيكية تتحرك على سطح حوض الماء، وباتجاه معاكس لجريان الماء (الشكل 5– 3).



الشكل 5 – 3: صورة حوض إزالة الزيوت بنظام الشفرات المتحركة.

5. 2 الأكسدة الأولية :

أدخل منذ سنوات عديدة في أكثر محطات التنقية عملية الأكسدة الأولية، وذلك بعد عملية الغربلة للمياه وإزالة الأجسام المعلقة، وقبل عملية التكتل، يستعمل الكلور عادة كمؤكسد وتسمى الكلوره الأولية (Préchloration)، أو الأوزون وتدعى الأوزنة الأولية (Préozonation). والهدف من هذه المرحلة رفع مردود مرحلة التكتل، إما بالتخلص من المواد المعيقة لتلك المرحلة كالطحالب، أو بتغيير بنية المركبات العضوية الكبيرة ووظائفها الكيميائية نتيجة الأكسدة، مما يسهل ويسرع دخولها في مرحلة التكتل اللاحقة. يضاف إلى ذلك دور الأكسدة الأولية في التخلص من المركبات المعدنية المرجّعة كالحديد الثنائي والمنغنيز، ويمكن إذا" تلخيص أهم فوائد هذه المرحلة بالآتي:

1) أكسدة المركبات العضوية القابلة للأكسدة.
2) أكسدة الحديد الثنائي والمنغنيز.
3) أكسدة الأمونيا والنتريت.
4) إبادة أو تثبيط الأحياء الدقيقة.

تتطلب عملية الأكسدة بالكلور إضافة كمية منه أعلى بقليل من الكمية الموافقة لنقطة بريك (Break –Point)، حيث إن تلك النقطة توافق وجود الكلور الحر بالماء مع اختفاء الكلور أمين، الذي يتكون في المرحلة الأولى من الأكسدة. أما زمن الأكسدة بالكلور فيختلف تبعا" للشروط المطلوبة وتبعا لنوعية المياه. تزال كمية الكلور المتبقية، في نهاية مرحلة الأكسدة الأولية، باستعمال مرجعات قوية مثل ثنائي أكسيد الكبريت أو تيوسولفات الصوديوم.

يستعمل الأوزون أيضا في هذه المرحلة، ويعدّ أكثر فعالية من الكلور للمواد العضوية والمعدنية باستثناء مركب الأمونيا الذي يتأكسد ببطء شديد بالأوزون في الوسط الحمضي، علما أن سرعة الأكسدة تزداد في الوسط القاعدي نتيجة تشكل الجذور الحرة الأكثر فعالية من الأوزون الجزيئي. أما الزمن اللازم للأوزون للقيام بدوره فإنه أقل بكثير من حالة الكلور، فهو لا يتجاوز الدقيقتين من أجل نسبة أوزون في الماء تقارب 0.5 غرام من الأوزون في المتر المكعب الواحد من الماء. تؤدي تلك الكمية المضافة من الأوزون إلى تحسن ملحوظ في مردود عملية التكتل مع توفير كبير للمكتلات المضافة.

يؤدي الأوزون، إضافة لعملية الأكسدة، دور المخثر دون أن يكون له الآلية نفسها التي في المخثرات العادية، حيث إن فعله يتلخص بتحطيمه للمعقدات العضوية المعدنية، وتحرير الحديد والمنغنيز ومن ثم أكسدتها وتكوين مركبات لها دور المكتل للمواد المعلقة وترسب معها، وبالتالي تحدث ظاهرة مطابقة لظاهرة التخثر والتكتل.

5. 3 التهوية:

تجرى عملية التهوية للمياه في حالات خاصة أهمها:

1 – احتواء الماء على نسبة عالية من غاز ثنائي أكسيد الكربون أو غاز كبريت الهيدروجين، حيث إن عملية التهوية تخفف من تركيزهما أو تزيلهما تماما" من الماء، وبالتالي تزيل الطعم السيئ الناتج عن كبريت الهيدروجين، وتخفف من التآكل الناتج عن ثنائي أكسيد الكربون.

2 – تجرى عملية التهوية على المياه الفقيرة بالأكسجين لزيادة الكمية المنحلة من الأكسجين في الماء.

3 – تساعد عملية التهوية على أكسدة شوارد الحديدي والمنغنيز وإزالتها بالترسيب.

يعتمد تصميم أحواض التهوية على إحداث أكبر سطح تماس ممكن بين الماء والهواء، واجراء عملية خلط سريعة للماء، وذلك لتسهيل عملية انتشار الغازات داخل الماء، وتأمين حركة حرة للهواء داخل السائل، مما يسمح بإزالة المواد القابلة للتطاير، ونورد فيما يلي أهم أنواع الأحواض المستخدمة للتهوية:

1 – أحواض التهوية الحاوية على مرذاذ:

يرذ الماء داخل الحوض باستعمال فوهات دقيقة تسمح بإحداث سطح تماس كبير بين قطرات المياه والهواء. وتتراوح أبعاد تلك القطرات بين قطرات الضباب وقطرات الماء الكبيرة. وتستخدم منافث أبعادها تتراوح بين 2.5 و 4 سم مع تدفق يتراوح بين 18 و 36 مترا" مكعبا" في الساعة تحت ضغط يزيد بمقدار 0.68 ضغط جو عن الضغط الجوي الخارجي. تسمح تلك الشروط بتقليص كمية ثنائي أكسيد الكربون المنحلة في الماء بمقدار 75%، وزيادة نسبة الأكسجين المنحل لتفوق التركيز اللازم لأكسدة الحديد المنحل في الماء، أما زمن التماس، فإنه يتعلق بالسرعة البدائية لعملية الرش وبجريانها بعد ذلك، وتعطى السرعة البدائية والتدفق بالعلاقتين الآتيتين:

$$V = Cv\sqrt{2gh} \quad , \quad Q = Cd.\ S\sqrt{2gh}$$

حيث: h: الحمولة الكاملة الواقعة على الثقوب، g: التسارع الأرضي.

S: سطح الثقوب، Cv : معامل السرعة العظمى (Velocité).

Cd : معامل التدفق الذي يعادل (Cv. Cc) حيث تمثل (Cc) معامل الدفع.

وتتعلق تلك المعاملات بمسار الماء بعد خروجه من الفوهات. وإذا افترضنا أن الزاوية(θ) تمثل الزاوية الفاصلة بين مسار الماء عند خروجه من الفوهة والخط الأفقي، فإن زمن التماس يعطى بالعلاقة:

$$t = 2\ Cv \sin\theta\sqrt{2h/g}$$

2 – أحواض التهوية المعتمدة على الجريان:

تتكون تلك الأحواض من 4 إلى 6 رفوف متوضعة بعضها فوق بعض بارتفاع يتراوح بين 1.2 إلى 3 متر، ويسيل الماء عليها في صورة طبقة رقيقة تسمح له بالتمدد والخلط معا". ويمكن إحداث ثقوب ضمن تلك الرفوف مما يزيد من سطح التماس بين الماء والهواء، وتعطى سرعة اختفاء ثنائي أكسيد الكربون في هذه الأنواع من الأحواض بالعلاقة الرياضية التالية:

$$Cn = Co.\ 10^{-Kn}$$

حيث إن:

Cn: تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون (مغ / لتر) بعد مروره على (n) رفا".

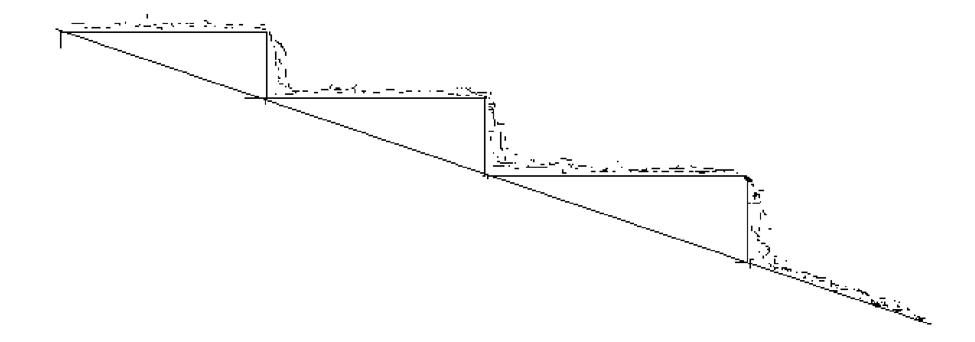
Co: التركيز الأولي لغاز ثنائي أكسيد الكربون(مغ / لتر) في الماء الخام.

K : معامل متعلق ببنية الحوض، وتتراوح قيمته بين 0.12 و 0.16 .

إذا أضيف إلى الحوض بخاخ للهواء من الأسفل معاكس لمسار الماء، يرتفع مردود الحوض في التخلص من غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحل بنسبة تتراوح بين 30% إلى 60%، وترتفع نسبة الأكسجين المنحل في الماء أيضا".

3 – أحواض التهوية الحاوية على شلالات:

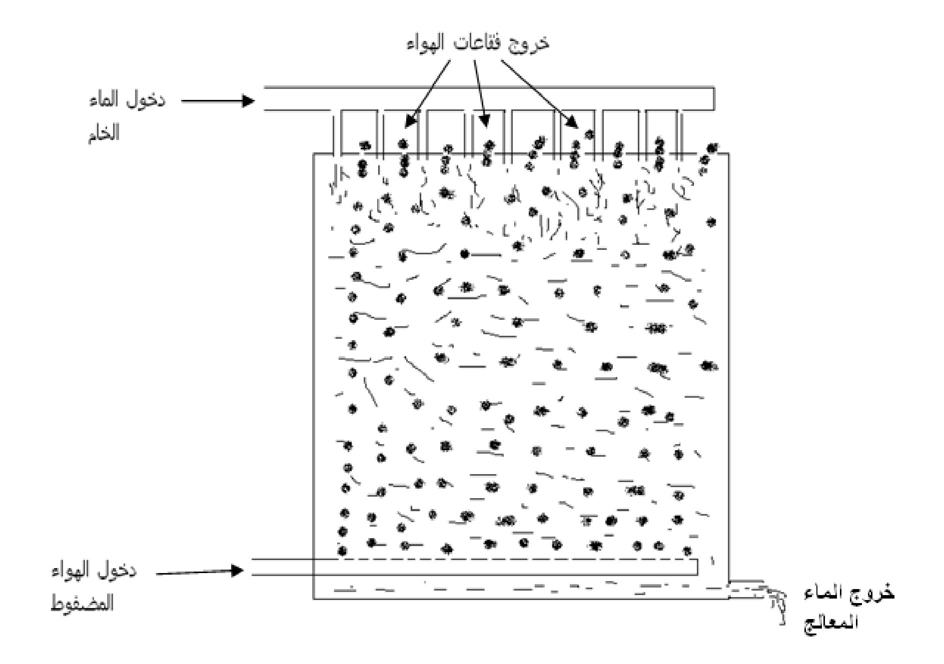
هناك أنواع مختلفة من أحواض التهوية الحاوية على شلالات، وأبسط تلك الأحواض ما يتمتع بتدفق مائل مع وجود عدة مساقط كما هو موضح بالشكل (5 – 4)، يمكن التحكم في زمن التماس بين الهواء والماء بزيادة عدد المساقط. ويمكن التخلص من 25% إلى 50% من ثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء.



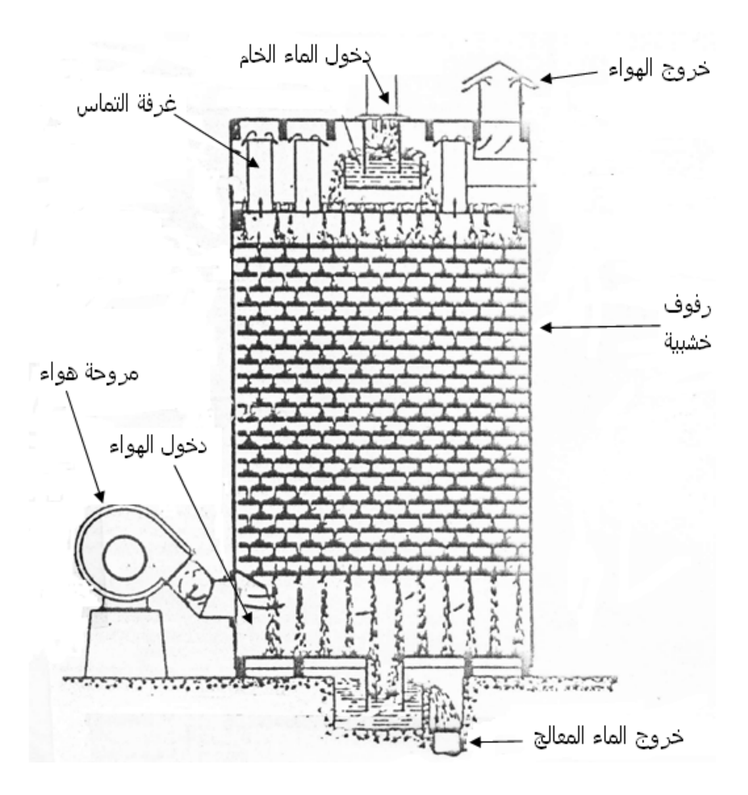
الشكل 5 – 4: أنموذج لحوض تهوية يحتوي على شلالات.

4 – أحواض التهوية بضخ الهواء:

تعتمد أحواض التهوية هذه على مبدأ ضخ فقاعات الهواء الصغيرة ضمن الوسط المائي باستخدام أنابيب أو أقراص مثقبة يمر عبرها الهواء المضغوط، وتخرج فقاعات الهواء في أسفل الحوض المائي، حيث تتصاعد داخل الحوض بحركة معاكسة لسيلان الماء. ويقدر زمن التماس بين الهواء والماء بخمس عشرة دقيقة تقريبا"، ويجب على كل حال أن تنحصر قيمة زمن التلامس بين 8 إلى 30 دقيقة. وتجرى عملية ضخ الهواء عادة على عمق يتراوح بين 3 إلى 4 متر داخل الحوض المائي لتأمين استفادة كاملة من فقاعات الهواء قبل وصولها إلى سطح الحوض وانطلاقها في الجو (الشكل 5 – 5). بينما يعطي الشكل (5 – 6) أنموذجا" آخر لحوض التهوية يحتوي على رفوف خشبية يحقق ظاهرة الشلالات، إضافة إلى كونه مجهزا" بمضخة هوائية في أسفل الحوض، مما يميزه بالجمع بين الطريقتين، طريقة الشلالات وطريقة ضخ الهواء، ويؤدي ذلك الجمع إلى رفع مردود العملية بشكل جيد.



الشكل 5 – 5: مخطط لحوض التهوية باستعمال ضخ الهواء من أسفل الحوض.



الشكل 5 – 6: مخطط لحوض تهوية يحتوي على شلالات ومجهز بمضخة للهواء أيضا.

5. 4 التصفية:

تتضمن التصفية كافة المراحل الفاصلة بين التهوية والتعقيم، ويعود تحديد تلك المراحل أساسا" لنوعية الماء الخام المراد تنقيته. تطبق المراحل بكاملها (التكتل الكامل، الترقيد، الترشيح) في حالة المياه السطحية الشديدة التلوث. أما في حالة المياه الأقل تلوثا فيكتفى بالتكتل الجزئي والترشيح، وقد تطبق مرحلة الترشيح فقط على المياه قليلة التلوث (مياه الينابيع والآبار).
تخفض المخثرات والمكتلات المضافة إلى الماء من قيمة الكمون الكهربائي السلبي للدقائق المعلقة، وبالتالي فإن إضافة كمية كافية لإزالة الكمون بكامله تحدث حالة تخثر كلي (Coagulation totale) للغرويات، تليها عملية التكتل. وتنتج عملية الترسيب (الترقيد) مياها" صافية تماما". أما في حالة حقن المياه بجرعة أقل من الكمية اللازمة لإحداث تخثر كلي، يحدث تخثر جزئي للغرويات متبوعا" بتكتل جزئي، حيث يعطي هذا النوع من التكتل جسيمات صغيرة الحجم يمكن إزالتها بالترشيح فقط دون اللجوء إلى مرحلة الترسيب.

5. 4. 1 التصفية بتطبيق التخثر الكلي:

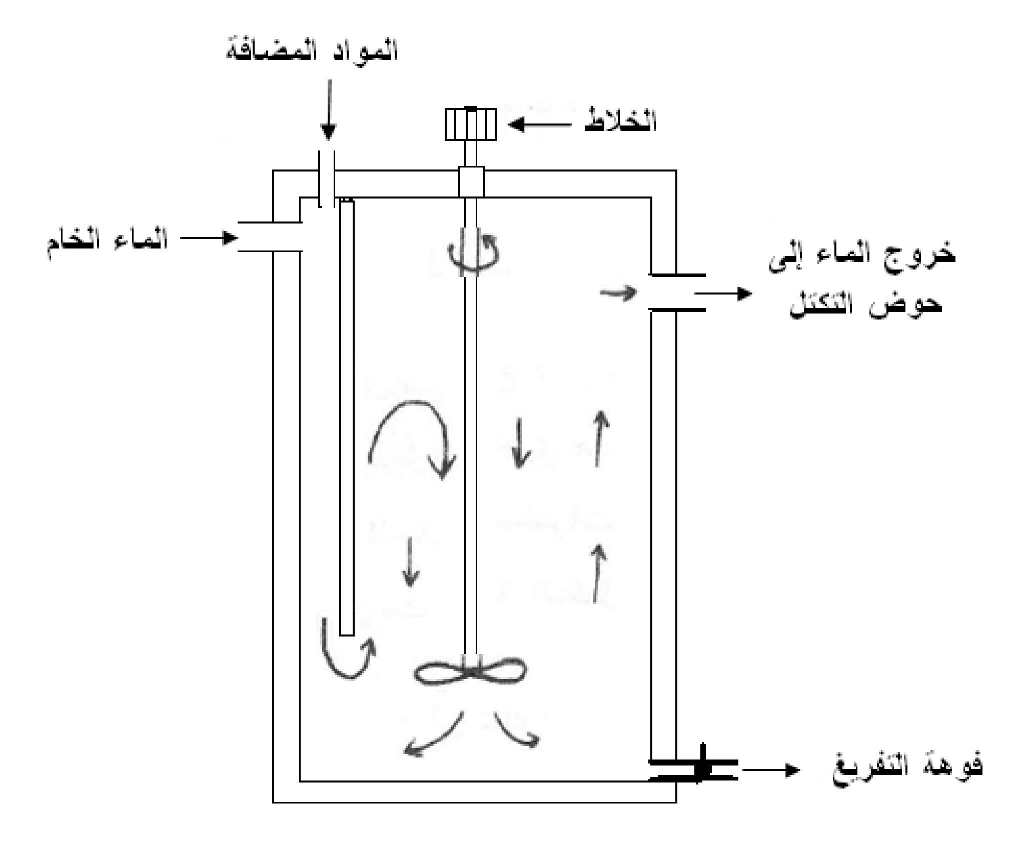
تشمل هذه الطريقة حالة تخثر كلي مرفقة بمرحلة تكتل وترسيب قبل مرحلة الترشيح. وتطبق على المياه الخام المتمتعة بإحدى المواصفات الآتية:

- المواد المعلقة في الماء الخام تتجاوز القيمة 40 غراما" في المتر المكعب.
- اللون يتجاوز القيمة (30 مغ / لتر) من وحدات بلاتين – كوبالت (Pt – Co).
- وجود نسبة عالية من المواد العضوية المنحلة (الطبيعية أو الصناعية).
- وجود نسبة عالية من المعادن الثقيلة المختلفة.
- توافر مكثف للعوالق الحيوانية والطحالب.

تنجز هذه الطريقة من خلال مراحل عديدة، حيث يضخ الماء الخام في المرحلة الأولى إلى داخل حوض مجهز بخلاط لمزج الماء مع المركبات الكيميائية المضافة وهي:

- المخثرات.
- مساعدات التكتل (المندفات).
- الفحم المنشط.
- حمض أو أساس لتعديل الوسط بما يتناسب مع المخثرات المستخدمة.

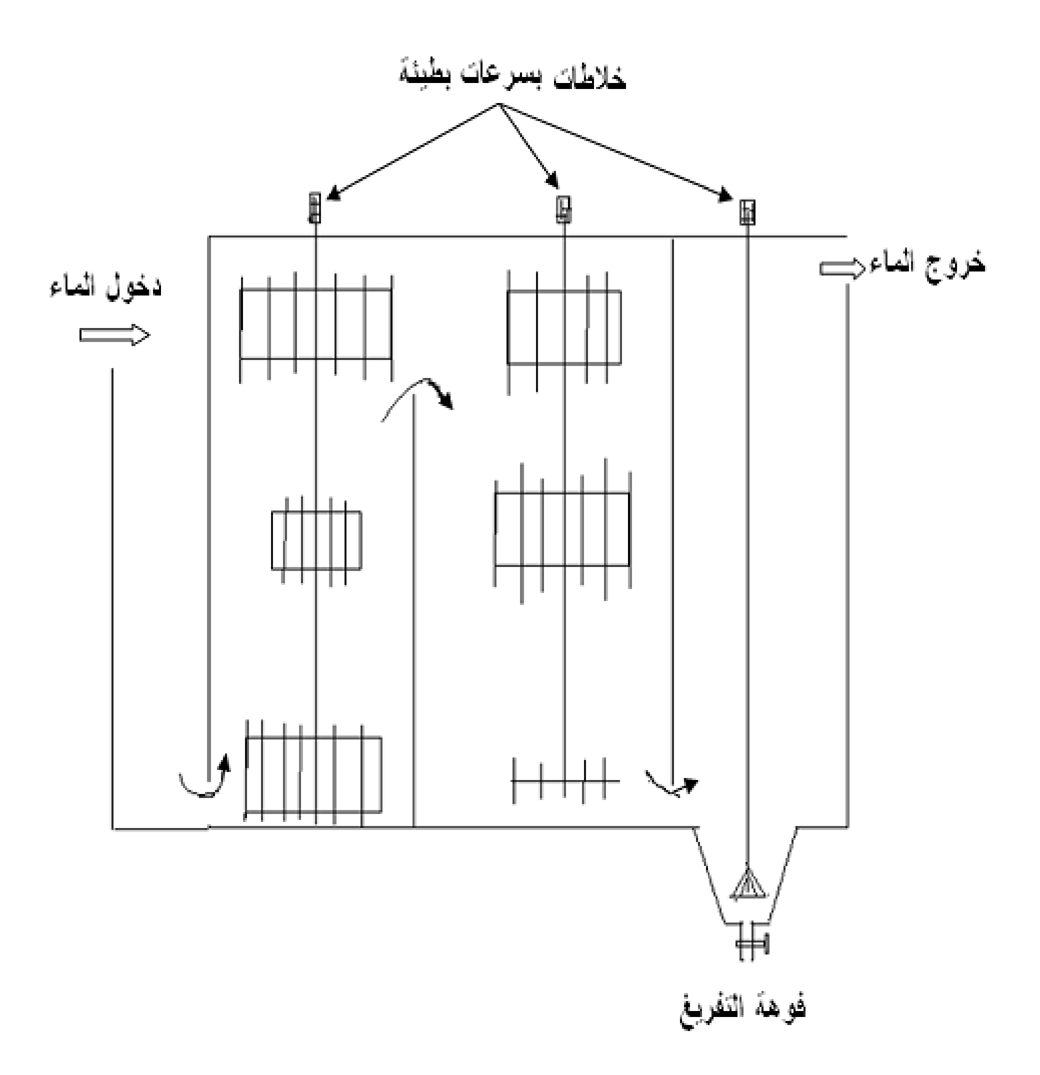
تجرى في هذا الحوض عملية مزج سريعة لمنع حدوث عملية الترسيب، يعطي الشكل (5 – 7) مخططا" لحوض المزج.



الشكل 5 – 7: مخطط حوض مزج الخام مع المخثرات ومساعدات التكتل والفحم المنشط.

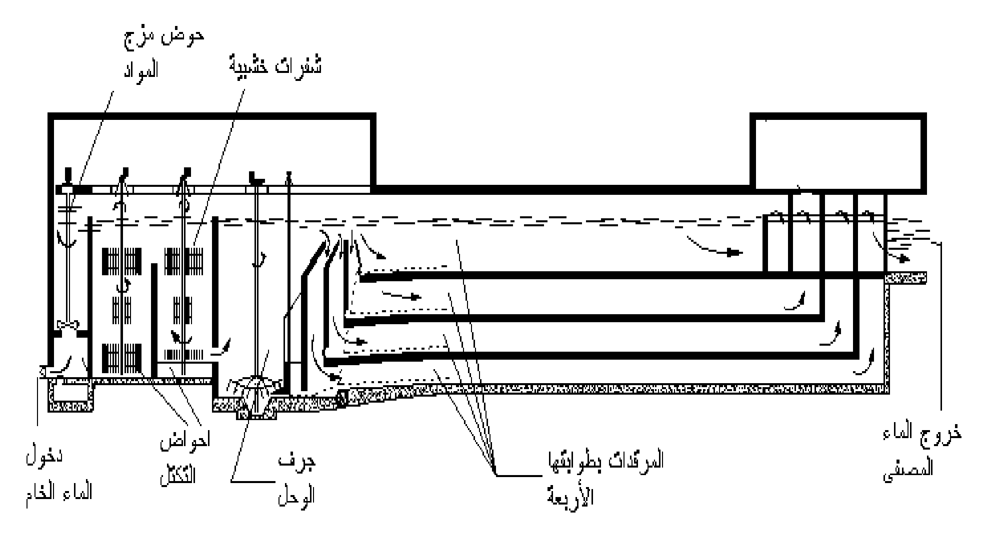
يسيل الماء الخام الممزوج بالمواد الكيميائية إلى حوض التكتل المجهز بخلاطات بطيئة الحركة، مما يسمح بتشكل تكتلات كبيرة نتيجة التصادم بين الجسيمات المعلقة (الشكل 5 – 8). يبقى الماء في حوض التكتل نحو نصف ساعة، ويعبر الماء هذا الحوض إلى حوض الترقيد.

هناك أنواع مختلفة من أحواض الترقيد، ولكل منها ميزاتها الخاصة المتناسبة مع الغاية من إحداثها، ولكن أهم عامل في بناء حوض الترقيد هو السماح للماء بالبقاء داخله فترة زمنية كافية للتخلص من التجمعات الناتجة بالترسيب، وخروج الماء منه بدرجة مقبولة من الصفاء. يقاد الماء الخارج من حوض الترقيد إلى المرشحات.



الشكل 5 – 8: مخطط لحوض التكتل المركب من ثلاث حجرات.

لا يتعرض الماء لأية عملية ضخ من لحظة دخوله حوض المزج الأول حتى خروجه من حوض الترقيد. ويوضح الشكل (5 – 9) مخططا لمجموعة أحواض التكتل والترقيد.



الشكل 5 – 9: مجموعة أحواض التكتل والترقيد ذات الطوابق الأربعة.

5. 4. 2 التصفية بتطبيق التخثر الجزئي:

تستعمل طريقة التخثر الجزئي للمياه الخام الخفيفة التلوث (درجة تعكر أقل من 40 غرام في المتر المكعب، ولون أقل من 30 وحدة، وتلوث خفيف بالمواد العضوية والمعدنية). تجري هذه الطريقة دون اللجوء إلى الترقيد، حيث تجري عملية حقن الماء الخام بالمخثرات قبل عملية الترشيح بفترة قصيرة، لإعطاء الوقت الكافي لحدوث عملية التكتل، كما تضاف مواد مساعدة للتكتل لحظة دخول الماء إلى المرشح. وتقلل المواد المساعدة المضافة من نسبة الدقائق الغروية المخترقة للسطح المرشح، بتحويلها إلى تكتلات كبيرة وبقائها على سطح المرشح. وترتبط هذه الطريقة باستخدام مرشحات كبيرة متمتعة بسطح واسع وعمق مرتفع.

5. 4. 3 المواد الكيميائية المستعملة في عملية التصفية:

تختلف نوعية وكمية المواد الكيميائية المضافة، باختلاف طريقة التصفية المتبعة، وباختلاف درجة التلوث للمياه الخام، ودرجة النقاوة المطلوبة في المياه المصفاة. ولكن هناك ثوابت عديدة كالمخثرات، ومساعدات التكتل، والمعدلات التي هي أساس عملية التصفية.

آ) المخثرات:

تتعلق عملية التخثر والتكتل بإزالة المواد الغروية في الماء، وبالتالي فإن اختيارها يتم بعد إجراء دراسات مخبريه على الماء الخام، مع الأخذ بالحسبان العامل الاقتصادي بسبب التفاوت الواسع في أسعارها.

1 – كبريتات الألمنيوم:

تستعمل كبريتات الألمنيوم ذات الصيغة التجارية [$Al_2 (SO_4)_3$ 18 H_2O] بمفردها عندما يحتوي الماء كربونات الكالسيوم الحمضية، بينما تمزج مع الكلس الحي (CaO) أو هيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم، في حالة خلو الماء الخام من كربونات الكالسيوم الحمضية.
الفعل المخثر لهذا الملح ينتج عن الحلمهة، أي عن عملية انحلاله بالماء حيث تتكون المركبات المرحلية للألمنيوم مثل:

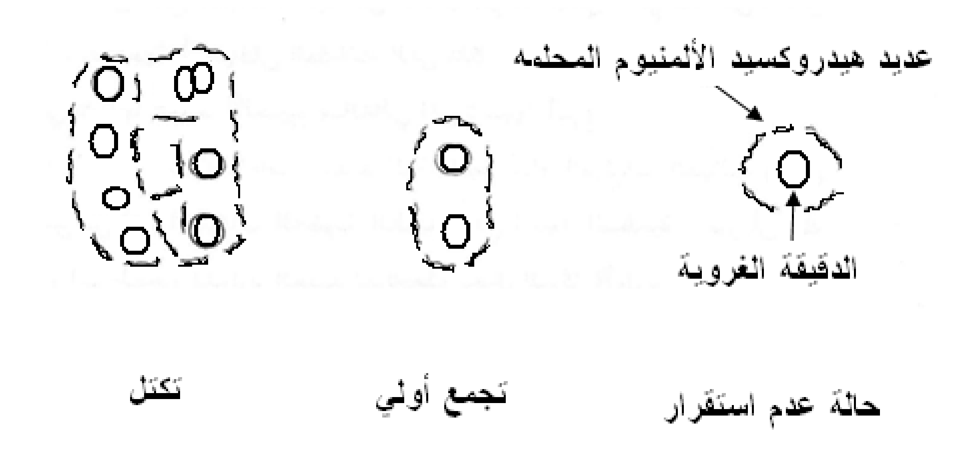
$$[Al(OH)_4]^{-1}، [Al(OH)_5]^{-2}، [Al(H_2O)_4(OH)_2]^{+1}، [Al(H_2O)_5OH]^{+2}$$

إن تلك المركبات لا تتضمن الشحنة اللازمة لتعديل الدقائق المشحونة فقط، بل هي قادرة أيضا على التضاعف لتكوين بوليميرات تقوم بدور الجسر الرابط بين الجزيئات المعلقة وبذلك تنطلق مرحلة التكتل اللاحقة (Floculation).
يتأثر فعل كبريتات الألمنيوم على المعلقات والغرويات بعوامل عديدة ومختلفة، أهمها قيمة دليل الهيدروجين للوسط المائي (pH) وتركيز شوارد الألمنيوم وكثافة وشحنة الغرويات، أما تأثير (pH) فدوره أساسي في فعالية كبريتات الألمنيوم بوجود الغرويات الكارهة للماء:

- وسط شديد الحموضة ($pH < 3$)، يكون الألمنيوم ضمن هذا الوسط بالصيغة الشاردية الحرة (Al^{+3})، وبالتالي فإن فعله على الغرويات السالبة ينحصر بضغط الطبقة المنتشرة وإحداث وضع غير مستقر في الدقيقة الغروية. تتدخل شوارد الهيدروجين في العمليات الجارية ضمن تلك الأوساط شديدة الحموضة المتمتعة بتراكيز عالية من شوارد الهيدروجين. أما المواد المترسبة في هذه الشروط فتتألف فقط من الجسيمات الغروية الأصلية، أي أن شوارد الألمنيوم لا تقوم بدور المكتل بل بدور المخثر فقط، مما يجعل سرعة الترسيب بطيئة جدا".
- وسط معتدل الحموضة ($3 < pH < 6$)، يتكون في هذا الوسط عديد هيدروكسي الألمنيوم (بوليميرات) الحامل لشحنة موجبة وهي تعدّل شحنة المعلق الغروي بضغط الطبقة المنتشرة وبالامتزاز، وتحتوي المادة المترسبة على الجسيمات الغروية الأساسية وعلى جسيمات متكتلة نتيجة امتزاز هيدروكسيد الألمنيوم.
- (pH) الوسط مجاور في قيمته لِ(pH) العزل الكهربائي، تساعد شروط هذا الوسط على تكوين عديدات هيدروكسيد الألمنيوم وامتزازها على سطح الدقائق الغروية، مهما كانت شحنة تلك الدقائق، لأن قوى الامتزاز تتغلب على القوى الكهرليتية. إن تلك الجسيمات الناتجة تحمل شحنات ضعيفة ولا تتمتع بالاستقرار، ولذلك تنطلق عملية التكتل، وتزداد

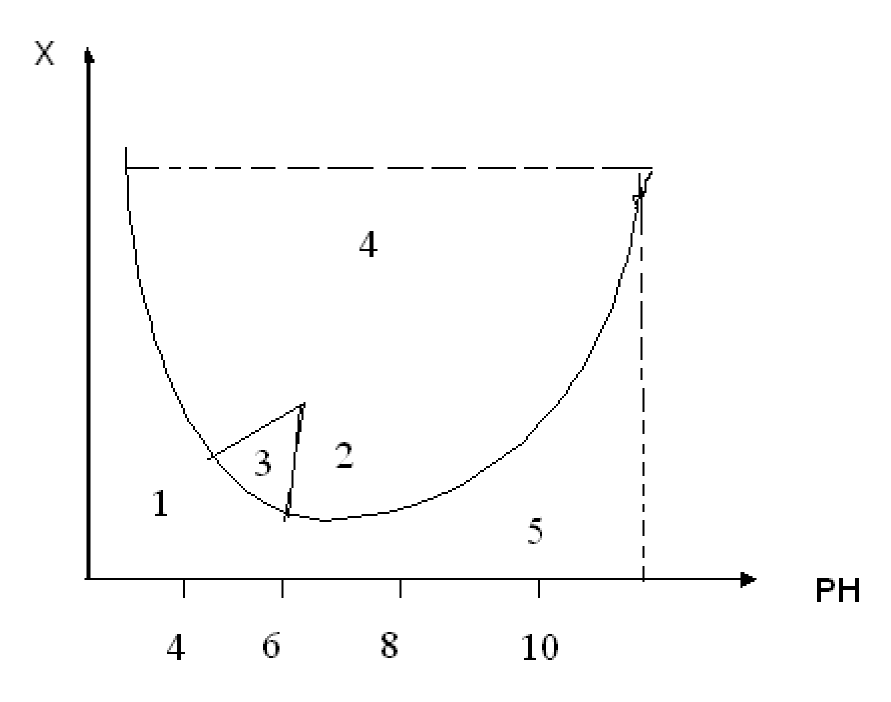
سرعة الترسيب للألمنيوم المحلمه. وتصطدم تلك الكتل داخل الوسط المائي بدقائق غروية معلقة فتمتصها على سطحها مما يؤدي إلى زيادة حجم تلك الكتل وبالتالي زيادة سرعة الترسيب.

تستعمل تلك الطريقة بشكل واسع في تنقية المياه، ويوضح الشكل (5 – 10) تصورا" لمراحل تكون الكتل الكبيرة.



الشكل 5 – 10: مراحل عملية التكتل.

تتأثر عملية التكتل بقيمة (pH) الوسط وبتركيز المكتل المضاف، وتغير أي من العاملين السابقين يؤدي إلى تغير كبير في التكتل والترسيب كما هو موضح في المنحني البياني (الشكل 5 – 11) الممثل لكمية الألمنيوم المضافة بدلالة (pH) مع وجود مناطق مختلفة في نوعية الشوارد وسرعة التكتل المرتبطة بها.



الشكل 5 – 11: تأثير pH الوسط وتركيز المخثر على عملية التكتل.

تمثل المنطقة (1) حالة التكتل البطيء بفعل الشوارد (H^{+1} , Al^{+3})، أما المنطقة (2) فإن التكتل يحدث بها بفعل هيدروكسيد الألمنيوم المحلمه، بينما تمثل المنطقة (3) منطقة تثبيت بفعل هيدروكسيد الألمنيوم، وفي المنطقة (4) تحدث عملية التكتل والترسيب بفعل هيدروكسيد الألمنيوم، بينما ليس هناك تكتل في المنطقة (5) لوجود الألمنيوم في الصيغة ($Al(OH)_4^-$).

أما تأثير كبريتات الألمنيوم في الغرويات الأليفة للماء وعلى مواد الدبال فإنه يعتمد على عملية امتزاز تلك المركبات على سطح الكتل المتكونة من عديدات هيدروكسيد الألمنيوم.

يضاف عادة 10 إلى 150 غرام من كبريتات الألمنيوم التجارية إلى كل واحد متر مكعب من الماء المراد معالجته، ويضاف الكلس الحي أو هيدروكسيد الصوديوم إلى المياه الخالية من كربونات الكالسيوم الحمضية بنسبة (33%) من كبريتات الألمنيوم، أما في حالة استعمال كربونات الصوديوم فإن الكمية المضافة منه تعادل كمية كبريتات الألمنيوم المضافة.

2 – ألومينات الصوديوم $Na\ Al\ O_2$:

تضاف ألومينات الصوديوم بمفردها للمياه الغنية بالكربونات الحمضية، وتمزج مع الكلس الحي أو غيره في حالة كون المياه فقيرة بالكربونات الحمضية، تتفاعل ألومينات الصوديوم مع كربونات الكالسيوم الحمضية معطية هيدروكسيد الألمنيوم الذي يقوم بدور المخثر:

$$Na\ Al\ O_2 + Ca\ (HCO_3)_2 + H_2O \rightarrow Al\ (OH)_3 + Ca\ CO_3 + NaHCO_3$$

يستعمل في محطات التنقية 5 إلى 50 غراما" من ألومينات الصوديوم التجارية للمتر المكعب الواحد من الماء الخام.

3 – عديدات الألمنيوم (بوليميرات هيدروكسيد الألمنيوم):

تستعمل على نطاق واسع عديدات الألمنيوم في تصفية المياه، لكونها تتمتع بصفات التخثر والتكتل، وتمتلك فعالية عالية أكبر من أملاح الألمنيوم الأخرى، ولها أسماء تجارية مختلفة نذكر منها:

- عديد كلور الألمنيوم القاعدي (PCBA): يحضر مباشرة قبل الاستعمال من تعديل كلور الألمنيوم بهيدروكسيد الصوديوم، وتكون درجة البلمرة ممتدة من الجزيء الحاوي على6 ذرات إلى 54 ذرة ألمنيوم في الجزيء الواحد [$Al_6(OH)_{12}{}^{+6} \rightarrow Al_{54}(OH)_{154}{}^{+8}$] تبعا لطريقة التحضير.
- واك (WAC): مركب صناعي شائع الاستعمال وهو عديد كلور الألمنيوم السائل ذو الصيغة العامة ($Al_n\ (OH)_m\ Cl_{3n-m}$) والمتميز بقابليته للحفظ لفترة طويلة، يضاف منه عادة بحدود 30 غراما" للمتر المكعب الواحد من الماء المراد معالجته.

4 – كلور الحديد :

إن أملاح الحديد تقوم بدور مشابه للذي تقوم به أملاح الألمنيوم، وذلك بتكوينها لهدروكسيد الحديد، غير أن مجال تأثيرها أكثر اتساعا" من أملاح الألمنيوم. فبينما تنحصر فعالية شوارد الألمنيوم ضمن مجال من pH يتراوح بين 6 و 7.4، فإن أملاح الحديد قادرة على التكتل في مجال من pH يمتد من 5 إلى 10، ومن جهة أخرى فإن التكتلات المتكونة في حالة شوارد الحديد تكون أثقل مما هي عليه في حالة شوارد الألمنيوم، وبالتالي تكون سرعة ترسيبها أسرع.

يمتلك هيدروكسيد الحديد ألفة عالية تجاه مركبات الدبال والتي تعدّ من أهم الملوثات في المياه السطحية الطبيعية، غير أن تلك الميزات الجيدة لمركبات الحديد لم تؤهله لاحتلال المركز الأول ضمن المخثرات لأسباب عديدة أهمها تشكيله لكميات كبيرة من الراسب، ينتج عنها مشكلة في التخلص منها.

يستعمل كلور الحديد بمفرده للمياه شديدة القساوة، وما عدا ذلك يمزج مع الكلس الحي أو ألومينات الصوديوم، يتكون هيدروكسيد الحديد في الوسط المائي حسب المعادلات الآتية:

$$2\ FeCl_3 + 3\ Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 3\ CaCl_2 + 2Fe(OH)_3 + 6\ CO_2$$

$$2FeCl_3 + 3\ Ca(OH)_2 \rightarrow 3\ CaCl_2 + 2Fe(OH)_3$$

$$FeCl_3 + 3\ NaAlO_2 + 6\ H_2O \rightarrow 3\ Al(OH)3 + Fe(OH)_3 + 3\ NaCl$$

تلتصق جزيئات هيدروكسيد الحديد قليلة الانحلالية بالدقائق الغروية وترسبها. يضاف من 5 إلى 150 غراما" من كلور الحديد التجاري($Fe\ Cl_3\ ,\ 6H_2O$) إلى متر مكعب من الماء الخام، وفي حالة مزجه مع ألومينات الصوديوم فإن نسبة المزج تكون واحدا" إلى واحدٍ وزنا".

5 – كبريتات الحديدي:

تتفاعل كبريتات الحديدي مع كربونات الكالسيوم الحمضية في الوسط المائي معطية هيدروكسيد الحديدي [$Fe\ (OH)_2$]، الذي يتأكسد بدوره بالأكسجين المنحل بالماء، ليعطي هيدروكسيد الحديد [$Fe(OH)_3$] الذي يؤدي دور المخثر. يضاف عادة من 10 إلى 100 غرام من كبريتات الحديدي التجارية ($Fe\ SO_4\ ,\ 7\ H_2O$) لكل متر مكعب من الماء المراد معالجته.

6 – كبريتات الحديد:

يمزج 10 إلى 150 غراما" من كبريتات الحديد التجارية [$Fe_2(\ SO_4)_3\ ,\ 9\ H_2O$] مع المتر المكعب الواحد من الماء الخام، وعند الحاجة يضاف الكلس الحي بنسبة 40% من وزن كبريتات الحديد المستهلكة.

7 – كلور كبريتات الحديد (CSF):

يستعمل كلور كبريتات الحديد على نطاق واسع في مجال تنقية المياه، ويحضر من تفاعل الكلور مع كبريتات الحديدي:

$$6\ Fe\ SO_4 + 3\ Cl_2 \rightarrow 2\ Fe_2(\ SO_4)_3 + 2\ Fe\ Cl_3$$

وبوجود كربونات الكالسيوم الحمضية في الوسط المائي، يتشكل هيدروكسيد الحديد كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$2\ Fe_2(\ SO_4)_3 + 2\ Fe\ Cl_3 + 9\ Ca\ (\ HCO_3\ )_2 \rightarrow 6\ Fe\ (OH\ )_3 + 3\ Ca\ Cl_2 + 6\ Ca\ SO_4 + 18\ CO_2$$

تضاف كبريتات الحديدي والكلور مباشرة إلى الماء الخام، أو يحضر المزيج مسبقا وتكون نسبة كل منها كالآتي:

Cl_2	SO_4	Fe	
115	360	210 – 200	غ / لتر

ب) مساعدات التكتل Adjuvants de Floculation:

تفيد مساعدات التكتل(التندّف) بوضوح في زيادة سرعة التكتل أو في تحسن نوعية الكتل المتشكلة (أكثر ثقلا"، أكثر حجما"، أكثر التحاما"،....،... .)، ويمكن تصنيفها تبعا" لنوعها

(معدنية أو عضوية) أو تبعا" لأصلها (طبيعية أو صنعية) أو بحسب شحنتها الكهربائية (موجبة، سالبة، غير مشحونة)، وأهم مساعدات التكتل المستعملة ضمن مجال تنقية المياه:

1 – السيليس المنشط:

إن السيليس المنشط محلول لحمض عديدي السيليس $[(H_2SiO_3)_4]$، ويعدّ من أوائل النماذج المستعملة في تنقية المياه التي مازالت تستعمل حتى الآن، ويعطي أفضل النتائج عند ترافقه مع كبريتات الألمنيوم، ويضاف إلى المياه المراد معالجتها بعد إضافة المخثر، ويحضر بالتعديل الجزئي لمحلول من سيليكات الصوديوم باستعمال حمض معدني أو كربونات الصوديوم الحمضية.

2 – مساعدات التكتل العضوية:

تتألف البوليميرات العضوية من جزيئات ضخمة من أصل طبيعي أو صناعي. وتقسم إلى ثلاثة أنواع تبعا" للصفة التشردية للمجموعة الفعالة:

1) البوليميرات غير المتشردة: نذكر منها عديد أكريل أميد ذا الكتلة الجزيئية المحصورة بين مليون و 30 مليونا".

$$\left[CH_2 - \underset{\underset{\displaystyle NH_2}{|}}{\overset{}{\underset{\displaystyle C=O}{\overset{}{\underset{|}{CH}}}}} \right]_n$$

Polyacrylamide

2) البوليميرات السالبة: يحتوي هذا النوع من البوليميرات على مجموعات تسمح بالامتزاز، ومجموعات قابلة للتشرد معطية شوارد سالبة فعالة. البوليمير الأكثر انتشارا" هو عديد أكريل أميد المحلمه جزئيا" بهيدروكسيد الصوديوم.

$$\left[\left[CH_2 - \underset{\underset{\displaystyle NH_2}{|}}{\underset{\displaystyle C=O}{\underset{|}{CH}}} \right]_n - CH_2 - \underset{\underset{\displaystyle O^- Na^+}{|}}{\underset{\displaystyle C=O}{\underset{|}{CH}}} \right]_m$$

المجموعة المتشردة مجموعة تسمح بالامتزاز

عديد أكريل أميد المحلمه جزئيا" (Polyacrylamide partiellement hydrolysée)

3) البوليميرات الموجبة: يحتوي هذا النوع من البوليميرات على سلسلته الكربونية بشحنة موجبة ناتجة عن مجموعة أمين أو شاردة أمونيوم.

عديد ڤينيل أمين (Polyvinylamines)   عديد الإتيلين إمين (Polyethylinimines)

إضافة إلى دور البوليميرات في عملية التكتل، فإن البوليميرات الموجبة الشحنة والخفيفة نسبيا" تقوم بدور المخثر في بعض الحالات. إن الشحنات الموجبة لعديد الكهرليت تعمل على تعديل الشحنات السالبة للغرويات وبالتالي انعدام كمون زيتا. في هذه الحالة يكون فعل الجزيئات الضخمة أسرع من فعل المخثرات المعدنية ويعود ذلك إلى كبر حجمها الذي يزيد من احتمالية التصادم مع الجسيمات الغروية.

أما البوليميرات السالبة (عديدات الكهرليتات السالبة) وغير المشحونة فليس لها الدور نفسه في انعدام كمون زيتا، ودورها ينحصر، نتيجة امتزازها على سطح الجسيمات الغروية، إلى تغيير في حالة السطح وبالتالي تعديل في قيمة كمون زيتا.

وقد تطورت عملية تصنيع البوليميرات الموجبة في السنوات الأخيرة بشكل متسارع جدا" بعد أن سمح باستعمالها في معالجة مياه الشرب، ومن تلك الأنواع المستعملة على نطاق واسع في معالجة مياه الشرب نذكر الآتي:

- (PolyDiAllyDimethylAmmonium Chlorure) PolyDAMAC

إن هذا النوع مصنع من عملية بلمرة للمونومير (DAMAC) ذي الصيغة الكيميائية (C8H16NCl)، والمنتج يباع على شكل سائل تتراوح نسبة المواد الفعالة بين 20% إلى 50%، أو بحالة صلبة (كرات). المعادلة الكيميائية لعملية البلمرة هي كالتالي:

• EpiDAMA (Epichlorhydrique-DimmethylAmine)

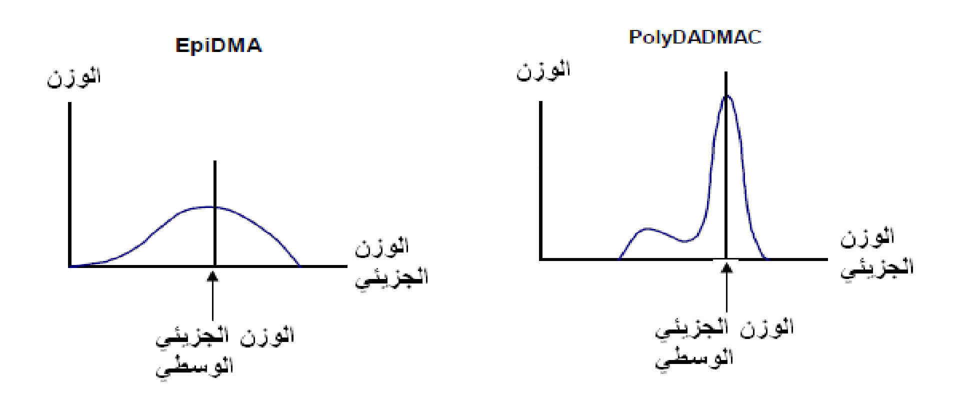
تصنع عديدات الأمين (EpiDAMA) ببلمرة ثنائي إتيل الأمين (Dimethylamine) وإبيكلوروهيدرين (Epichlorhydrine)، ويكون المنتج النهائي سائل يحتوي 50% من المادة الفعالة:

$$n\ CH_2\overset{O}{—}CH—CH_2—Cl + n\ (CH_3)_2NH \longrightarrow \left[\overset{CH_3\ Cl^-}{\underset{CH_3}{N^+}}—CH_2—\underset{OH}{CH}—CH_2 \right]_n$$

تتمتع الزمرتان السابقتان بكثافة شحنة عالية، مع وزن جزيئي صغير أو متوسط مع معدل تشابكية مختلف، وتستعمل كمخثرات أولية مع فعالية عالية مهما كانت قيمة (pH) الوسط. علما أن الزمرتين (EpiDAMA، PolyDAMAC) مختلفتان في المونومير الأساسي وطريقة التحضير والبنية الجزيئية.

نظرا" إلى وجود سلاسل قصيرة وسلاسل طويلة يمكن اعتبارعديدات الأمين من المواد عديدة التكافؤ، وبالتالي تمتلك فعالية جيدة وسريعة في عملية إرجاع المركبات العضوية.

إن مقارنة (PolyDAMAC) مع (EpiDAMA) تظهر أن التوزع الجزيئي للأول أكثر قربا، وأكثر نوعية ووزن جزيئي أعلى من الثاني (الشكل 5 – 12)، ولذلك فإن فعاليته في تخفيض العكارة جيدة من أجل معيار أصغر من عديدات الأمين.



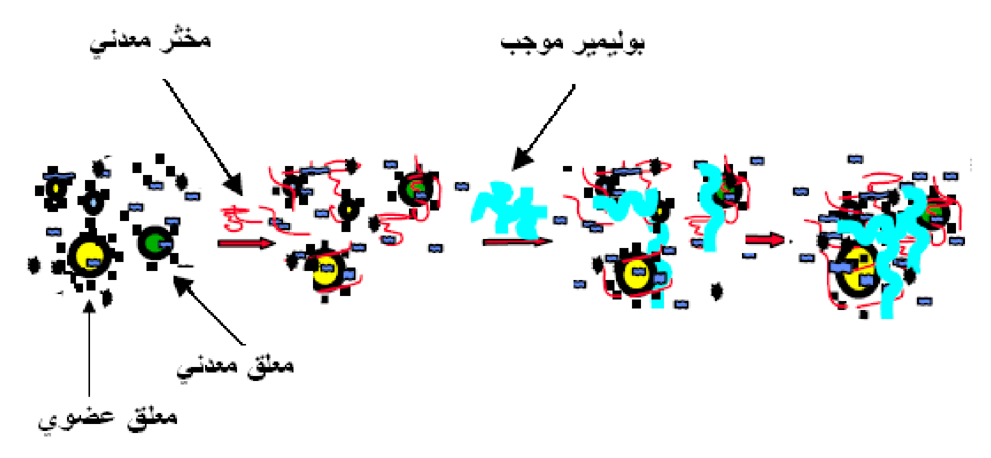
الشكل 5 – 12: توزع الوزن الجزيئي من أجل كل من (EpiDAMA) و(PolyDAMAC).

وهذه المركبات يمكن أن تحرر أجزاء منها (Dimethylamine , Trimethylamine) تعطي عند استعمال الكلورة مركبات ثانوية ضارة.

ونورد فيما يلي أهم ميزات البوليميرات الموجبة:

- استعمال تركيز منخفض.
- فعالية ضمن مجال واسع من (pH) الوسط، بعكس الأملاح المعدنية المستعملة كمخثرات والمحدودة في مجال ضيق من (PH) الوسط.
- تأثير مهمل على (pH) الوسط.
- فعالية في إزالة المركبات العضوية المنحلة في حالات عديدة.
- زيادة فترة عمل المرشح في الدورة الواحدة، واقتصاد في مياه الغسيل.
- رفع مردود عملية التخلص من الجسيمات المعلقة وخاصة في حالة التكتل على المرشح مباشرة. حيث تؤدي إضافتها إلى إعطاء مياه مرشحة لا تتجاوز قيمة العكارة فيها (0. 5 NTU).
- إزالة الطحالب وحيدة الخلية.
- تعدّ البوليميرات أقل عدائية في عملية التآكل من الأملاح المعدنية. تصنف المادة عدائية إذا تجاوز التآكل السنوي القيمة 6.25 مم، بينما البوليميرات المستعملة كمخثرات لا يتجاوز معدل فعلها التآكلي(4 مم / عام)، أما الأملاح المعدنية المستعملة كمخثرات فإن فعلها التآكلي يتجاوز (10 مم / عام).
- تجنب وجود شاردة الألمنيوم أو الحديد في المياه المعالجة.
- الحصول على أفضل النتائج في التخلص من الأحياء الدقيقة.
- تخفيض حجم الوحل المنتج بنسبة 30% إلى 50%.

إن وجود حالة تشارك بين تلك المركبات والأملاح المعدنية المستعملة كمخثرات (أملاح الحديد أو الألمنيوم) يعطي مفعولا" مضاعفا" على الجسيمات المعلقة والمواد العضوية. حيث يقوم المخثر المعدني بتحييد شحنة الجسيمات المعلقة، بينما يقوم البوليمير الموجب ذو الوزن الجزيئي المرتفع بتجميع تلك الجسيمات وتشكيل كتل كبيرة سريعة الترسيب، ويعطي الشكل (5 – 13) مراحل تلك العملية.



الشكل 5 – 13: آلية عمل البوليميرات المكتلة {12}.

يجري اختيار أي منها بعد إجراء تجارب عديدة في المختبر لمعرفة المناسب منها للماء المعالج وللمخثر المستعمل، ويجب تحديد الزمن الفاصل بين إضافة المخثر ومساعد التكتل للحصول على أفضل النتائج، واختيار مساعدات التكتل خاضع للقوانين الإدارية السارية، حيث تمنع بعض الدول استعمال مساعدات التكتل المصنعة في مجال مياه الشرب.

ج) الفحم المنشط:

يضاف الفحم المنشط في مرحلة التكتل كمساعد للتكتل من جهة، وكمادة مازة للملوثات العضوية من جهة أخرى، ويتمتع الفحم المنشط بقدرة عالية لامتزاز العديد من المركبات العضوية كالمنظفات والمحلات الكلورية والفينولات والمشتقات العطرية والمبيدات وغيرها من الملوثات العضوية في المياه السطحية، ويستعمل على شكل مسحوق بمعدل 20 غراما" للمتر المكعب من الماء.

د)المعدلات (حمض – أساس):

تعدل قيمة pH الماء الخام قبل إضافة المخثرات بما يتناسب مع الشروط المطلوبة للمخثر المستعمل، بتعبير آخر فإن قيمة pH الوسط تعدل لتطابق نقطة العزل الكهربائي. فعند استعمال أملاح الألمنيوم فإن قيمة pH الوسط يجب أن تكون بين 5 .5 إلى 7.5 فإذا كان الوسط أكثر حموضة فإنه يحتوي على شوارد موجبة $[Al(OH)^{+}, Al(OH)^{++}]$ تلتصق بالدقائق الغروية وتعطيها الشحنة الموجبة، أما إذا كان الوسط أكثر قاعدية فيظهر في الوسط شوارد سالبة $[Al(OH)_4^{-}]$ تشحن الدقائق الغروية سلبا"، وفي كلتا الحالتين تضعف ظاهرة التجمع وتتحول إلى ظاهرة غروية، ولتفادي حدوث ذلك يجب مراقبة pH الوسط باستمرار وتعديله بما يناسب المخثر المستعمل.

5. 5 الترشيح :

يزيل الترشيح المواد المعلقة في الوسط المائي، ويستعمل مباشرة في حالة المياه الصافية، أو بعد عملية التكتل والترقيد للمياه المعالجة، وتجرى عملية الترشيح بإمرار الماء على مرشحات تحوي الرمل، ويضاف الفحم المنشط إلى بعضها، ويختلف سمك المرشح باختلاف الطرائق المستعملة، فهناك الترشيح البطيء، والترشيح السريع وكذلك الترشيح تحت ضغط مرتفع نسبيا".

5. 5. 1 الترشيح البطيء:

يعدّ الترشيح البطيء على طبقة من الرمل الناعم من أقدم الطرائق المستخدمة في مجال معالجة المياه، وقد تم استخدام هذه التقنية في القرن التاسع عشر. وما زالت تستخدم حتى الآن في العديد من محطات التنقية المخصصة للمياه الخفيفة التلوث.

يتألف المرشح البطيء من طبقة رملية ناعمة، تتراوح أبعاد حُبيباتها بين 0.25 و 0.35 مم، ويبلغ سمك الطبقة مترا" واحدا"، وتسمح تلك المواصفات للماء بعبور الطبقة الرملية بسرعة صغيرة نسبيا" بين 3.5 إلى 7.5 متر مكعب ماء للمتر المربع من سطح المرشح خلال 24 ساعة، ولذلك فإن استعمال هذه الطريقة يتطلب وجود أحواض واسعة جدا" لإعطاء التدفقات المطلوبة.

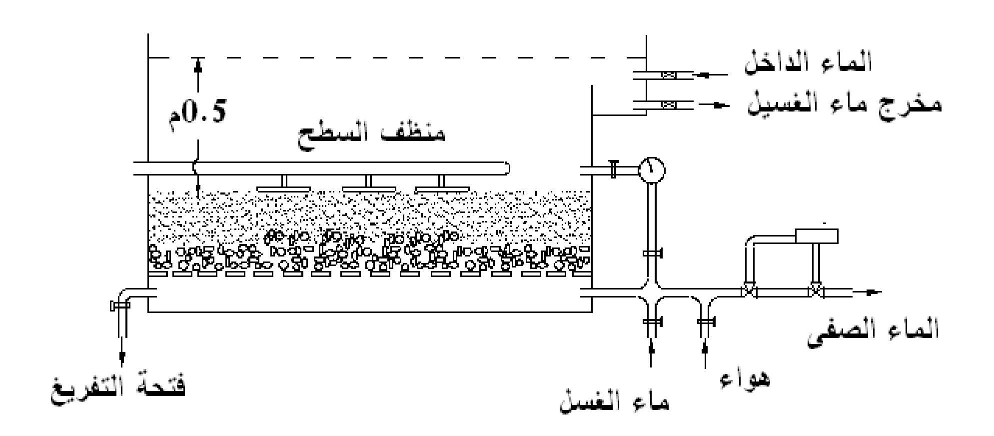
يوفر الترشيح البطيء ظروفا" مناسبة للمعالجة الحيوية للماء، وذلك نتيجة تجمع طبقة من الأحياء الدقيقة على سطحه، وتقوم تلك الأحياء بدور المختثر للغرويات، وبالوقت نفسه تحلل المركبات العضوية المحمولة في الماء الخام، ولكن فعالية هذا النوع من الترشيح تجاه مركبات الدبال ضعيفة جدا"، بينما يحتجز على سطح المرشح أكثر من 95% من البكتريا المعوية، ورغم أن تلك الطبقة من الأحياء الدقيقة النامية على سطح المرشح تتميز بدور إيجابي ومهم، فإن زيادة سماكتها على حد معين يجعلها مصدر تلوث وسببا" في نقصان التدفق خلال المرشح، أي إعاقة عملية الترشيح مما يستدعي إجراء غسيل لسطح المرشح وإزالة قسم من الطبقة الرملية وتعويضها برمل جديد.

5. 5. 2 الترشيح السريع:

آ) المرشح المفتوح:

يتألف المرشح المفتوح من الأجزاء الآتية (الشكل 5 – 14):

- طبقة من الرمل السيليسي أبعاد حبيباته تتراوح بين 0.5 إلى 0.8 مم، ويتراوح سمك طبقة الرمل بين 0.5 متر إلى 0.9 متر.
- شبك تعلوه طبقة من الحصى.
- تجهيزات لغسل المرشح باتجاه معاكس لاتجاه جريان الماء عبر المرشح.
- منظف لسطح المرشح لإزالة المواد المعلقة المترسبة على السطح.



الشكل 5 – 14: مرشح سريع عادي ومفتوح.

تكون سرعة الترشيح عبر هذا النوع من المرشحات بحدود 115 مترا" مكعبا" للمتر المربع من سطح المرشح خلال 24 ساعة.

تتم عملية الغسيل للمرشح على مرحلتين، تجرى المرحلة الأولى عندما تنخفض قيمة التدفق نتيجة تراكم الجسيمات المعلقة على سطحه، بإمرار شفرة ميكانيكية على سطحه مع ماء الغسل. أما المرحلة الثانية أي الغسيل الكامل، فإنها تجري بإدخال ماء الغسل والهواء باتجاه معاكس لاتجاه الترشيح وجعل الطبقة الرملية معلقة ضمن الوسط المائي المندفع من الأسفل بسرعة تكفي لزيادة حجم الطبقة الرملية بمقدار 30% إلى 40% من حجمها الأساسي، وتعطى نسبة التمدد للطبقة الرملية بالعلاقة:

$$E = \frac{Le - L}{L} \times 100$$

حيث (E) نسبة التمديد، و (L) ارتفاع الطبقة الرملية في حالة السكون، و (Le) ارتفاع تلك الطبقة عند الغسيل (التطويف).

تحدد فترة الغسيل بمراقبة درجة التعكر للماء الغاسل، وهي عادة بحدود 15 دقيقة على ألا تتجاوز نسبة الماء المستخدم للغسيل 2.5% من الماء المعالج عبر المرشح. يستعمل هذا النوع من المرشحات على نطاق واسع في أكثر طرائق التنقية لفعاليته الجيدة ولميزاته الاقتصادية الممتازة في تكلفة الإنشاء وتكلفة الاستثمار على حد سواء.

ب) المرشح المغلق:

تستخدم المرشحات المغلقة لزيادة سرعة الترشيح، حيث يمكن أن تصل سرعة الترشيح إلى 100 م / سا (أي 100 متر مكعب من الماء تمر عبر متر مربع من سطح المرشح خلال ساعة واحدة)، مما يعطي مردودا" يزيد بعشرين ضعفا" على المرشح المفتوح، ويعمل هذا النوع تحت ضغط يتراوح بين 0.2 بار إلى 2 بار، ولذلك يجب أن يكون مصنعا من مادة إنشائية تتحمل الضغط المرتفع، هناك أنواع عديدة من المرشحات المغلقة التجارية، ولكن استعمالها واسع في مجال تنقية المياه الصناعية ومحدود في مجال محطات مياه الشرب.

5. 5. 3 استعمال الفحم المنشط ضمن المرشحات:

يستعمل الفحم المنشط ضمن المرشح الرملي لتحسين أدائه في إزالة الملوثات. إن الزيادة المطردة في نسبة التلوث للأنهار العابرة للمدن الصناعية، والزيادة في نوعية المركبات الملوثة، يتطلب البحث المستمر عن مراحل جديدة تضاف إلى المراحل الأساسية في تنقية المياه، من أجل التخلص من تلك المركبات التي لا تتمكن تلك المراحل من احتجازها، وتعدّ عملية الترشيح على طبقة من الفحم إحدى تلك المراحل المضافة للتخلص من الملوثات المعدنية و العضوية الدقيقة.
يؤدي الفحم المنشط دورين أساسيين ضمن المرشح. يتلخص الدور الأول بامتزازه للعديد من المركبات العضوية المنحلة في الماء ضمن تجاويفه الكبيرة (امتزاز سريع) أو مسامه الدقيقة (امتزاز بطيء)، أما دوره الثاني فيتلخص بحجزه للبكتريا على سطحه (دور الحامل) وتكاثرها عن طريق تحطيمها للمركبات العضوية الممتزة، وبالتالي حدوث ظاهرة التحلل الحيوي للمركبات العضوية.

يتمتع الفحم المنشط بالعديد من الميزات المهمة في صناعة مياه الشرب ومنها:

- امتزاز العديد من المركبات العضوية المنحلة وأحيانا العناصر المعدنية المقاومة لكافة المراحل السابقة من التنقية.
- قيامه بدور الحامل للبكتريا التي تمارس نشاطها في التحلل العضوي.
- يؤلف مرحلة أمان وضمانة نهائية في محطة التنقية وخاصة عند حدوث تلوث مفاجئ في المياه السطحية المغذية لمحطة التنقية وظهور مركبات سامة تعجز الطريقة

التقليدية عن إزالتها، ونظرا لكون مجال امتزاز الفحم المنشط واسعا" فإنه قادر على امتزازها ومنع وصولها إلى شبكة مياه الشرب.

- يتمتع بعمر استثماري طويل قبل الاستبدال.

5. 6 التعديل:

تكون المياه الطبيعية في حالة توازن كيميائي طبيعي من حيث الشوارد السالبة والشوارد الموجبة عند دخولها محطة المعالجة، ولكن خلال المراحل المختلفة من المعالجة يمكن أن يتغير هذا التوازن نتيجة ترسيب المواد وإضافة الكواشف الكيميائية المختلفة، لذلك يجب تصحيح التوازن قبل توزيعه في شبكات مياه الشرب، بإعادة قيمة (pH) الوسط إلى الوضع الطبيعي، بعد أن يكون قد طرأ عليه عدد من التعديلات في عملية التكتل والترقيد، ويجب أن يتمتع الماء المخصص للشرب والخارج من محطة المعالجة بالتوازن الكربوناتي وأن يكون غير أكال وغير مؤذ للإنسان أو لأنابيب النقل وخزانات التجميع.

وتتعلق عملية التعديل بعدة عوامل أهمها:

- نوعية المياه الخام.
- طرائق المعالجة المستخدمة.
- المواد الإنشائية التي تلامست مع الماء في أثناء التخزين والنقل والمعالجة.
- الشروط الحركية المائية ضمن شبكة التوزيع.

نظرا" إلى هذه العوامل المعقدة والمتناقضة أحيانا"، يجب معالجة كل حالة على حدة، وتهدف عملية التعديل أساسا" إلى التخلص من الفعل الأكال للماء، وبما أن الفعل الأكال للماء تتحكم فيه ثلاثة توازنات كيميائية هي:

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + CO_3^{--}$$

فإن الفعل الهجومي أو الأكال للماء مرتبط بقيمة (pH) الوسط، فإذا كانت تلك القيمة أقل من القيمة التوازنية لحالة الإشباع (pHs) فإن الماء يحل الكربونات، ويسمى الماء في هذه الحالة الماء الأكال(Agressive). أما إذا كانت قيمة (pH) الوسط المائي أعلى من القيمة الإشباعية له، فإن الماء يميل إلى ترسيب الكربونات ويسمى عندئذ الماء المغشي (Incrustante)، وإذا كان (pH) الماء مساويا إلى (pHs) فيكون عند ذلك في حالة توازن.

عملية التعديل يقصد منها تحويل الماء الأكال إلى ماء متوازن من الناحية الكلسية، أي تحقيق العلاقة الآتية:

$$Ks = [CO_3^{-2}] [Ca^{+2}]$$

ومن أجل الوصول إلى هذا الهدف هناك عدة طرائق :

- إضافة شوارد الكالسيوم عن طريق إضافة ملح منحل للكالسيوم، ولكن هذه الطريقة غير مرغوب فيها لكمية الملح الكبيرة التي ستضاف إلى الماء.
- إضافة شوارد الكربونات بإضافة ملح كربونات الصوديوم.
- إضافة كربونات الكالسيوم بحل صخور كلسية.
- زيادة قيمة (pH) الوسط بطرد غاز ثنائي أكسيد الكربون بالتهوية أو بإضافة الكلس الحي أو الصودا.

آ) حالة وجود ثنائي أكسيد الكربون الحر في الماء المعالج:

في حالة احتواء الماء المعالج على غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر، فإن المعالجة تجري بالتهوية أو بإضافة قلوي إلى الماء لتعديله، ويستعمل عادة رائق الكلس، أو هيدروكسيد الصوديوم أو كربونات الصوديوم، كما وتستخدم طريقة الترشيح على مرشح من مركبات المعادن القلوية الترابية.

- التخلص من ثنائي أكسيد الكربون بالتهوية:

تُطبق إحدى طرائق التهوية الواردة في الفقرة (5 – 3).

- التخلص من ثنائي أكسيد الكربون بالصودا:

إن إضافة هيدروكسيد الصوديوم يعدل غاز ثنائي أكسيد الكربون الأكال وينتج كربونات الصوديوم الحمضية المنحلة، ويجب إضافة (0.91) غرام من هيدروكسيد الصوديوم لتعديل غرام واحد من غاز ثنائي أكسيد الكربون. يستعمل عادة محلول هيدروكسيد الصوديوم بنسبة (10%) .

- التعديل باستعمال رائق الكلس:

إن الكلس المطفأ، أو ما يسمى برائق الكلس هو مركب هيدروكسيد الكالسيوم، وهو الأكثر استعمالا" في عمليات التعديل المختلفة، ويجب إضافة (0.84) غرام من هيدروكسيد الكالسيوم النقي لكل غرام من غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر، ويضاف عادة محلول هيدروكسيد الكالسيوم ذي التركيز الذي يتراوح بين (5 % إلى 10 %) .

- التعديل باستعمال كربونات الصوديوم:

إن تفاعل كربونات الصوديوم مع غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر والأكال تعطي كربونات الصوديوم الحمضية المنحلة.

يجب استعمال (2.4) غرام من كربونات الصوديوم لتعديل غرام واحد من ثنائي أكسيد الكربون، ويستعمل محلوله بتركيز نحو (10%).

- التعديل على مرشح من أملاح المعادن القلوية الترابية:

تتكون الطبقة المرشحة من كربونات الكالسيوم ممزوجة معها كربونات المغنزيوم أو هيدروكسيد المغنزيوم، وخلال مرحلة الترشيح تتحول الكربونات إلى كربونات حمضية، وتحدث عملية الترشيح عادة ضمن مرشحات مغلقة تحت الضغط، وتكون الطبقة المرشحة حُبيبية.

عندما يكون اتجاه الماء المراد معالجته على المرشح من الأعلى إلى الأسفل، فإن المرشح ذو دور في التخلص من غاز ثنائي أكسيد الكربون من جهة، ويخلص الماء من المعلقات الصلبة أيضا، ولكن يجب إجراء عملية غسيل دورية، ويمكن استخدام الترشيح من الأسفل إلى الأعلى، ولكن في هذه الحالة، فإن عملية الغسيل وتعويم الطبقة المرشحة تصبح غير ضرورية بشرط أن يكون الماء الخام صافيا".

ب) الماء يحتوي غاز ثنائي أكسيد الكربون أقل من القيمة التوازنية :

في هذه الحالة يجب تحميض الماء بإضافة غاز ثنائي أكسيد الكربون، أو حمض الكبريت بشرط أن يكون الحمض نقيا"، وألا يكون تركيز الكبريتات في الماء مرتفعا". كما ويمكن تعديل هذا النوع من المياه بإجراء عملية إزالة جزئية للكربونات.

5. 7 الأكسدة والتعقيم:

تعطي المراحل السابقة للتنقية ماء" صافيا"، ولكن ذلك لا يعني أنه أصبح صالحا" للشرب، لأن الصفاء قد يخفي خلفه تلوثا" خطيرا" بالمواد المعدنية و العضوية أو بالأحياء الدقيقة الممرضة. ولذلك لابد من التخلص من المركبات العضوية المتبقية بالأكسدة، ومن البكتريا والفيروسات بالتعقيم، قبل توزيع المياه في شبكات مياه الشرب.

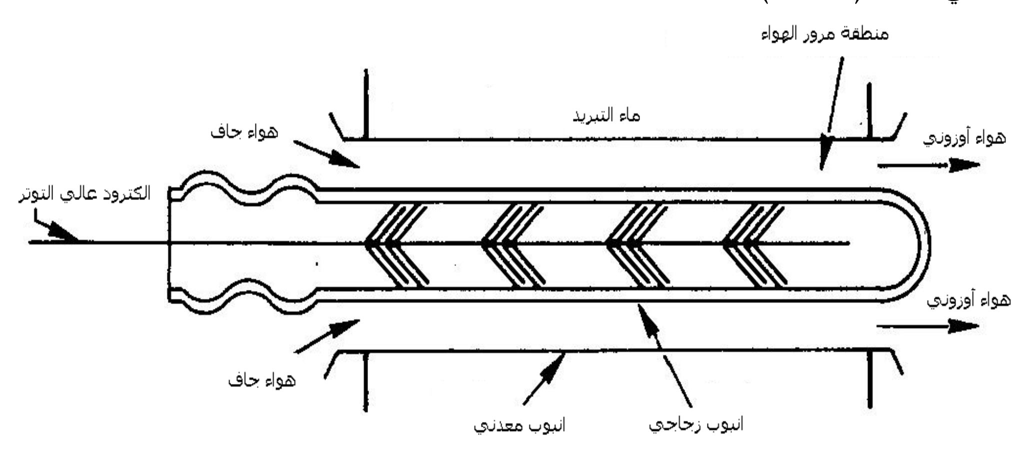
5. 7. 1 الأكسدة والتعقيم بالأوزون:

آ) تصنيع الأوزون:

يحضر الأوزون بالتفريغ الكهربائي الساكن لغاز الأكسجين أو الهواء، ويستخدم لهذا الغرض قطبان يفصل بينهما مسافة بسيطة، ويحتوي جزء من الفراغ بين القطبين مادة عازلة كهربائيا" ذات سمك ثابت تلتصق على أحد القطبين أو على القطبين معا"، ويكون الفراغ المتبقي

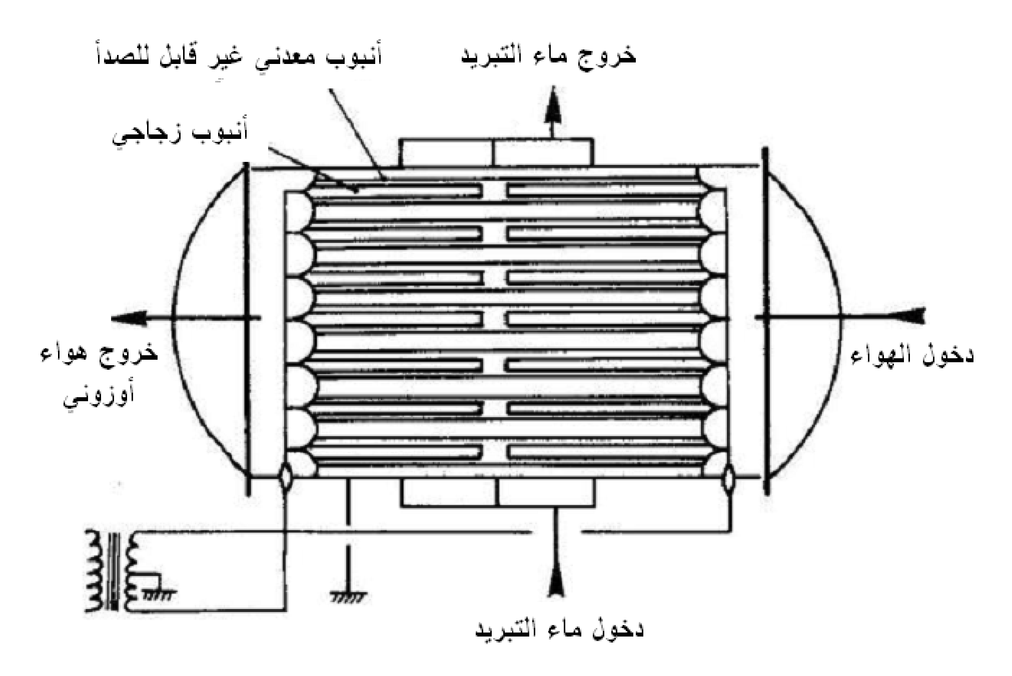
مخصصا" لمرور الهواء أو الأكسجين، إذا عبر الغاز الحاوي على الأكسجين مع وصل القطبين بتوتر عالٍ (1000 إلى 2000 فولط) تعرض الأكسجين المار لتفريغ كهربائي وتحول جزء منه إلى أوزون.

ويعطي الشكل (5 – 15) مخططا" تفصيليا" لمكونات الأنبوب المولد للأوزون.



الشكل 5 – 15: مخطط الأنبوب الزجاجي الحاوي على الإلكترود والأنبوب المعدني المحيط ومناطق تدفق الهواء وماء التبريد الذي يؤلف وحدة أساسية في بنية جهاز مولد الأوزون.

تعطي الأنواع المختلفة لأجهزة إنتاج الأوزون هواء" أوزونيا" يحتوي نسبة من الأوزون تتراوح بين 10 إلى 20 غرام من الأوزون في المتر الكعب من الهواء الأوزوني، ويوضح الشكل (5 – 16) الجهاز الأنبوبي الأفقي لتصنيع الأوزون والمنتج من قبل شركة (DEGREMONT) الفرنسية، كنموذج لتلك الأجهزة. يتألف الجهاز من أنابيب معدنية غير قابلة للأكسدة، يحيط بها ماء جارٍ للتبريد باستمرار. وفي داخل تلك الأنابيب مجموعة أخرى من الأنابيب الزجاجية العازلة كهربائيا ومغطاة من الداخل بطبقة معدنية متصلة بالقطب الموجب عبر أسلاك تتجمع مع سلك يمر في وسط الأنبوب. يتصل القطب السالب بالأنبوب المعدني الخارجي. يمرر الهواء في المنطقة الفاصلة بين الأنبوبين حيث يتولد الأوزون. وهناك عادة عدد من الأنابيب تبعا لاستطاعة الجهاز. تغذى تلك الأجهزة بالأكسجين أو بالهواء بعد إجراء عملية تنقية على الهواء لإزالة الرطوبة والشوائب.



الشكل 5 – 16: مخطط مولد الأوزون.

ونورد في الشكل (5 – 17) صورة لمولدات الأوزون، وتعطي فكرة عن حجم تلك المولدات.



الشكل 5 – 17: صورة لمولدات الأوزون{89}.

ب) طريقة حقن الأوزون:

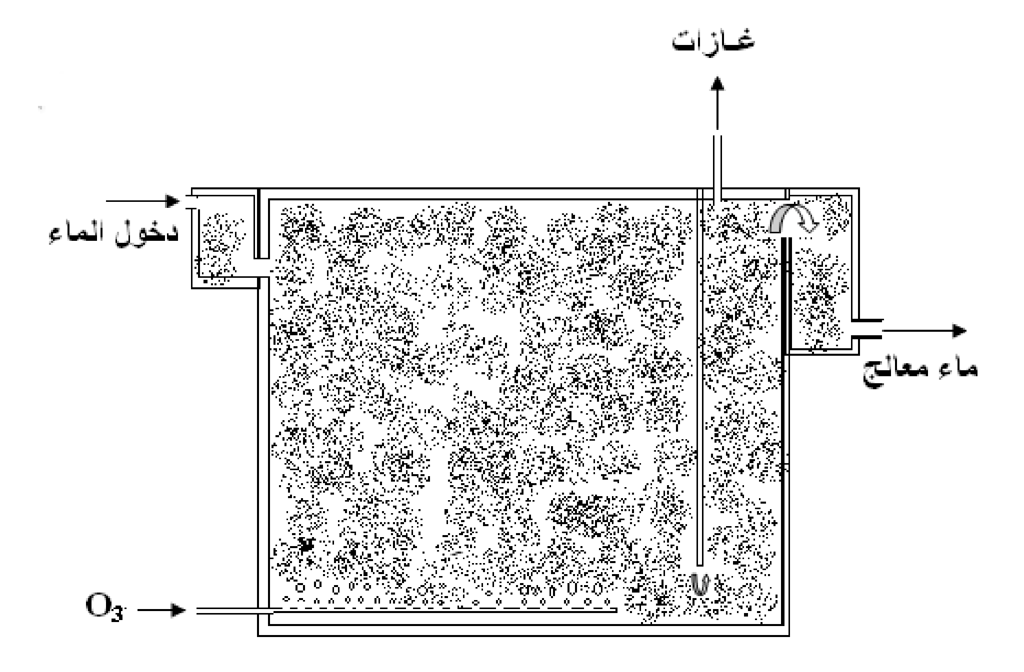
إن نشر طور غازي في طور سائل يمكن أن يجري بحقن الغاز في الطور السائل أو توزيع السائل ضمن الطور الغازي، ولكن في حالة معالجة مياه الشرب بالأوزون، فإن معدل المعالجة عموما" يتراوح بين 0.5 غرام إلى 4 غرام من الأوزون للمتر المكعب ماء، مع تركيز للأوزون في الهواء من مرتبة 15 إلى 20 غ / م^3، ضمن هذه الشروط، فإن نسبة تدفق الهواء الأوزوني على تدفق الماء المعالج تتراوح بين 0.025 و 0.25 متر مكعب هواء أوزوني على متر مكعب ماء، وهذه النسبة صغيرة جدا"، لذلك يجري عمليا" حقن الأوزون في الوسط المائي وليس العكس.

وتتمثل الطرائق الأكثر استعمالا" ببرج تماس مع حقن (نشر) هواء أوزوني من خلال ثقوب دقيقة أو حاقن مائي أو عنفة دوارة.

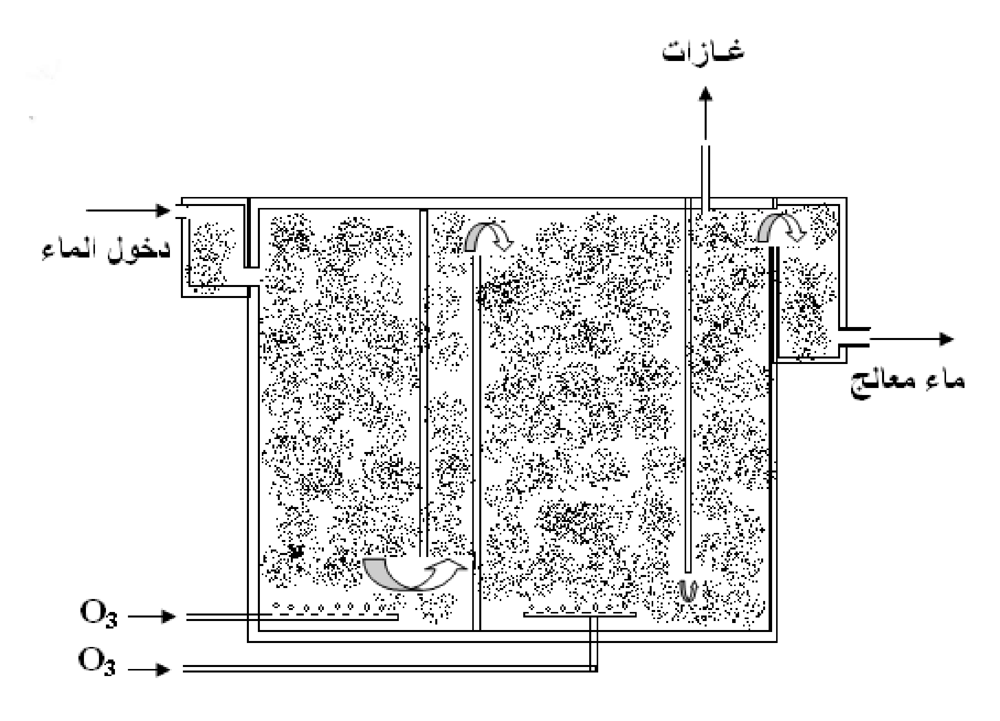
في حالة عدم وجود مواد معلقة أو منحلة قابلة للترسيب (حديد، منغنيز،....،... .) خلال عملية الأوزنة، يمكن استعمال الأقراص أو الأنابيب المسامية لحقن الأوزون ضمن حجرات المعالجة بتقنيات مختلفة من حيث تصميم الحجرات وعددها.

تعدَ عملية حقن الماء بالأوزون ذات أهمية كبيرة في انحلال الأوزون بالماء، وبالتالي تؤثر في فعالية الأكسدة و في المردود العام لدرجة الأكسدة والتعقيم، يحقن الماء بالأوزون من خلال عبور الأوزون للوسط المائي في هيئة فقاعات يكون قطرها أصغر ما يمكن، وبالتالي سطح التماس بين الطور الغازي والطور السائل أكبر ما يمكن، مما يؤدي إلى درجة انحلال مرتفعة للأوزون في الماء، وتتمركز الأنابيب أو الأقراص الناشرة للأوزون في قعر حجرة الأكسدة.

تجري عملية الأكسدة في حجرة واحدة، أو عدة حجرات متتالية، وذلك تبعا" لدرجة التلوث. تتلخص ميزة استعمال حجرات عديدة بإطالة زمن التماس مما يزيد من درجة الأكسدة من جهة، ويضمن التعقيم الأفضل، حيث إن الحمات الراشحة تتطلب زمنا قدره 4 دقائق من التماس مع الأوزون لقتلها، وقد لا تحقق الحجرة الواحدة هذا الزمن من التماس. ويوضح الشكل (5 – 18) مخطط طريقة الحقن في حجرة واحدة، كما يعرض الشكل (5 – 19) مخططا لحالة الحجرتين.

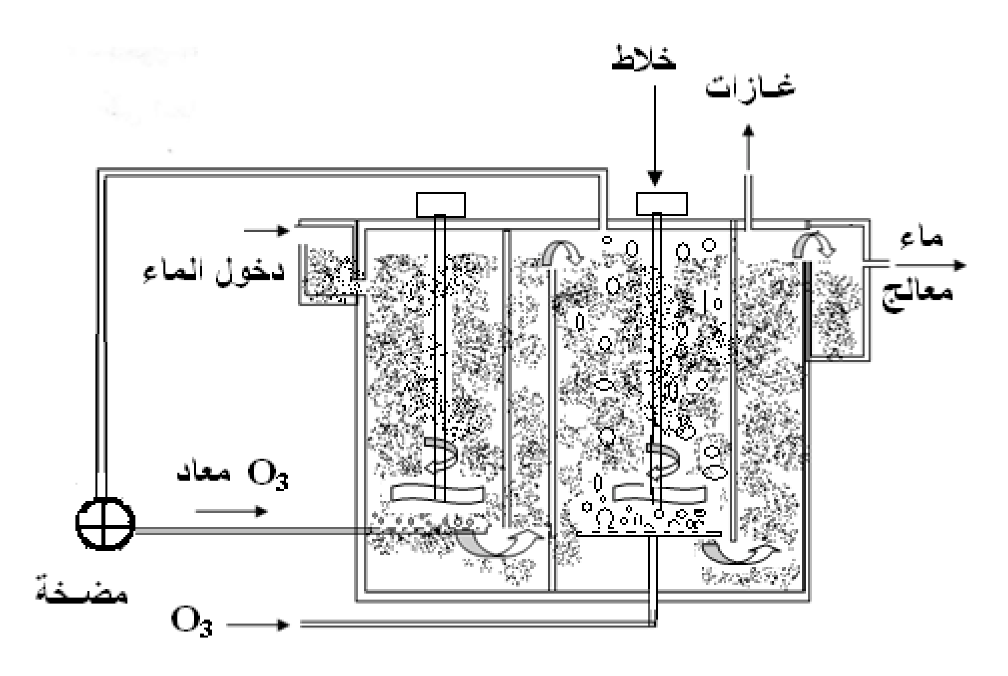


الشكل 5 – 18: حقن الأوزون ضمن حجرة واحدة.



الشكل 5 – 19: نظام الحجرتين

يستعمل الأوزون في بعض الحالات كمؤكسد فقط، دون الاهتمام بدوره التعقيمي، ولذلك يفضل في هذه الحالة استعمال نظام إعادة ضخ الهواء الأوزوني ضمن الحجرة ذاتها، أو في حجرة أخرى، لرفع المردود ومحاولة استهلاك الكمية العظمى من الأوزون، إن هذا النظام يرفع المردود ويحمي البيئة من الأوزون المنطلق في الهواء الجوي، ويوضح الشكل (5–20) مخطط هذا النظام وأجزاءه .



الشكل 5 – 20: نظام حقن الماء بالأوزون مع إعادة تدوير الأوزون المتبقي على حجرة إضافية.

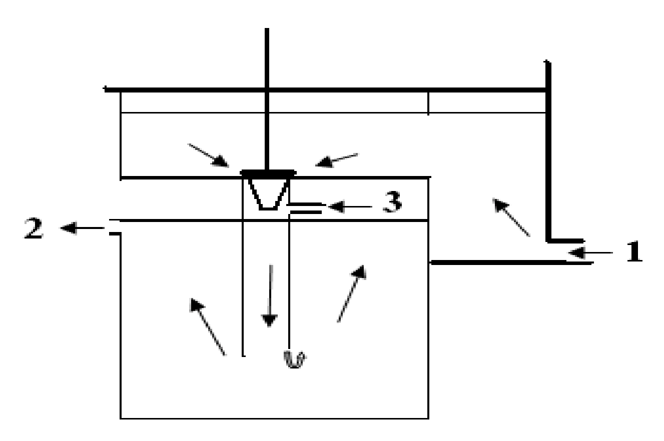
يوضح المخطط في الشكل أعلاه أن الأكسدة الأساسية تحدث في الحجرة الثانية عبر إدخال الهواء الأوزوني إليها، ويعبرالأوزون المتبقي عمود الماء و يخرج من أعلى الحجرة الثانية ويعاد ضخه إلى الحجرة الأولى المستقبلة للماء الخام الغني بالملوثات العضوية، وبالتالي فإن الهواء الأوزوني العائد والخفيف التركيز يتفاعل مع تلك الملوثات ويختفي من الوسط المائي قبل دخوله الحجرة الثانية، وتستخدم في هذه الحجرات تقنية الحقن بأنبوب مثقب أو صفيحة دائرية مثقبة مركبة على أنبوب التوزيع (الشكل 5 – 21).



الشكل5 – 21: حقن الأوزون داخل الوسط المائي عن طريق الثقوب الدقيقة.

ولكن في حالة وجود حمولة عالية من المواد المعلقة، أو تراكيز عالية من المواد القابلة للترسيب خلال الأوزنة فإن الطريقة السابقة تصبح غير قابلة للاستثمار، ويجب استعمال حاقن مائي أو عنفة دوارة.

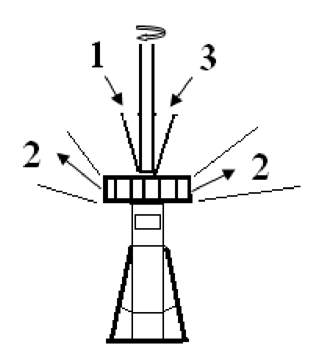
تعتمد تقنية الحاقن المائي على مبدأ مضخة التفريغ المائية، حيث يعبرها جزء من الماء المراد معالجته ويسحب معه الهواء الأوزوني ويوزعه داخل برج المعالجة أو حجرة المعالجة (الشكل 5 – 22).



1 – دخول الماء الخام، 2 – خروج الماء المعالج بالأوزون، 3 – دخول الهواء الأوزوني.

الشكل 5 – 22: الحاقن المائي للأوزون.

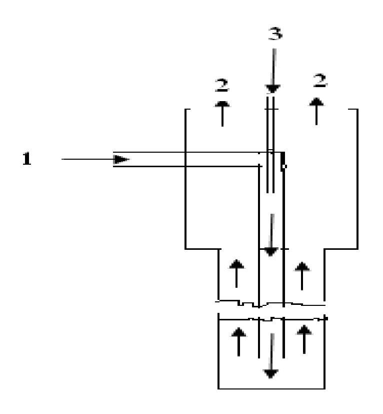
أما تقنية العنفة الدوارة فإن الهواء الأوزوني والماء المراد معالجته يسحبان معا نتيجة الحركة الدائرية للعنفة ويدخل المزيج إلى حجرة المعالجة(الشكل 5 – 23).



1 – دخول الماء الخام، 2 – خروج الماء مع الأوزون، 3 – دخول الهواء الأوزوني.

الشكل 5 – 23: العنفة الدوارة لحقن الأوزون.

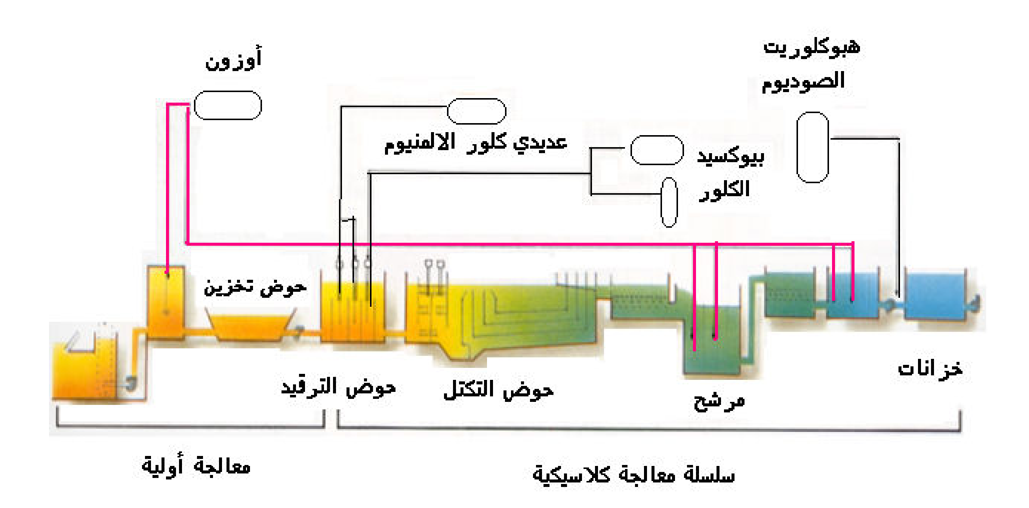
وهناك تقنية أخرى مستخدمة أيضا" تسمى الأنبوب المعكوف (U)، التي تعتمد على سير المزيج (أوزون – ماء) باتجاه الأسفل في أنبوب عمودي. وإن الحركة العنيفة للسائل مع الطور الغازي والضغط المتشكل تؤمن عملية انتقال جيد للأوزون من الطور الغازي إلى الطور السائل (الشكل 5 – 24)، يصعد الماء بعد ذلك من الجانبين للأعلى.



1 – دخول الماء الخام، 2 – خروج الماء المعالج بالأوزون، 3 – دخول الهواء الأوزوني.

الشكل 5 – 24: الأنبوب المعكوف لحقن الأوزون.

يستعمل الأوزون في مراحل عديدة ضمن محطات معالجة مياه الشرب، حيث يستثمر دوره كمؤكسد في مرحلة المعالجة الأولية، ودوره كمؤكسد ومعقم في المرحلة النهائية. نورد صورة لمخطط مراحل المعالجة (الشكل 5–25) التي توضح مراحل استعمال الأوزون.



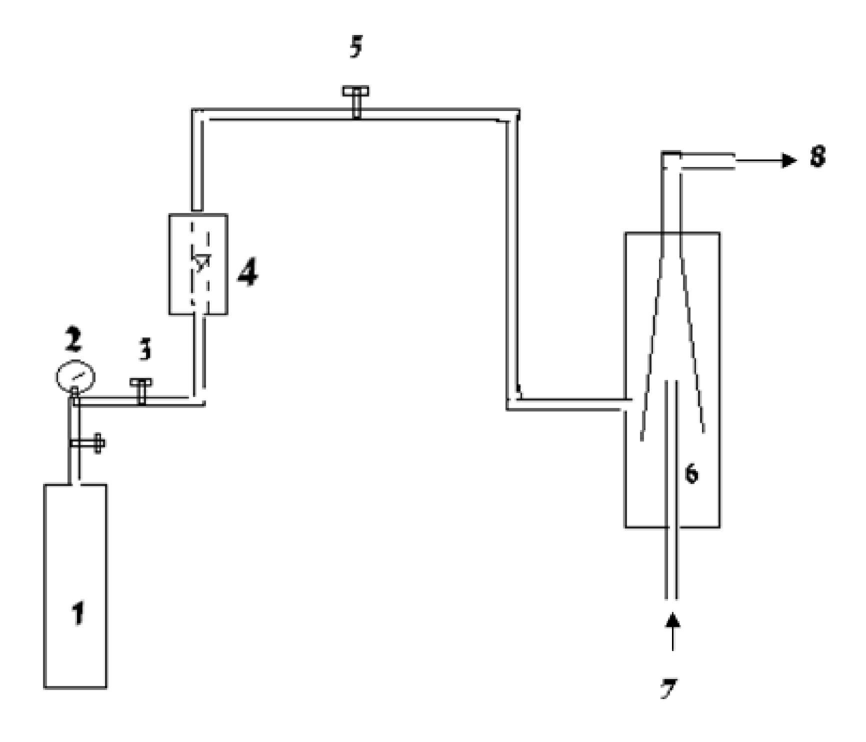
الشكل 5 – 25: صورة لمراحل المعالجة بالأوزون في محطة (Mery – sur –oise) الفرنسية {89}.

5. 7. 2 التعقيم بالكلور:

يستعمل الكلور للتعقيم حتى في حالة وجود مرحلة الأكسدة بالأوزون، لأن زمن بقاء الأوزون بالماء محدود جدا"، وبالتالي يعود التلوث الحيوي إلى الماء من جديد في أثناء التخزين أو ضمن شبكة التوزيع، وعلى الرغم من توافر العديد من المعقمات فإن الكلور يبقى الأكثر انتشارا" في مجال تعقيم المياه، ويحدث الفعل التعقيمي بأداء جيد إذا كان تركيز الكلور بالماء بين 0.1 إلى 0.2 مليغرام في اللتر مع زمن تلامس أكبر من 30 دقيقة.

آ) طريقة استعمال الكلور:

يباع الكلور السائل في قارورات أسطوانية أو خزانات مضغوطة ومصنعه من المعدن غير القابل للصدأ، يحضر ماء الكلور ضمن جهاز خاص (الشكل 5 – 26)، حيث يمزج غاز الكلور مع نسبة معينة من الماء (1 غ / لتر)، يضاف ماء الكلور في خزان الماء المصفى أو في أنابيب شبكة التوزيع، أو في الحالتين معا". تحدد الكمية المضافة بحيث تؤمّن بقاء نسبة تتراوح بين 0.1 إلى 0.2 مليغرام في اللتر بعد نصف ساعة من التماس بين الكلور والماء.



1– اسطوانة الكلور، 2– مقياس الضغط، 3– صمام لتخفيف الضغط، 4 – مقياس تدفق الغاز، 5 – صمام تعيين التدفق، 6 – القاذف، 7 – ماء نقي ، 8 – ماء الكلور المحضر.

الشكل 5 – 26: جهاز تحضير ماء الكلور.

تعاني محطات التنقية التي تغذي شبكة واسعة بمياه الشرب من مشكلة التعقيم بالكلور، لأن إضافة كمية كبيرة منه يؤدي إلى ظهور طعم ورائحة غير مستساغين في المناطق القريبة من المحطة، وتؤدي إضافة كمية قليلة إلى انعدام الكلور بالشبكة أو في خزانات المياه المرحلية قبل وصوله إلى المستثمر بزمن طويل، مما قد يسمح بعودة التلوث الحيوي في الأنابيب أو في الخزانات الموزعة، لذلك فإن الحل يتلخص بحقن الماء بنسبة معقولة من الكلور، ولكن على مراحل، وفي نقاط مختلفة من شبكة التوزيع.

ب) النقطة الحرجة (نقطة بريك BREAK – POINT):

قبل تحديد شروط عملية الكلورة،لا بد من تحديد النقطة الحرجة ثم تحديد كمية الكلور الواجب إضافتها، وتمثل القيمة الدنيا في المنحني البياني الرابط بين كمية الكلور المتبقية بالماء بدلالة كمية الكلور المضافة إليه، ويمكن الحصول على المنحني البياني بمعالجة عينات من الماء بكميات متزايدة من الكلور، وقياس الكلور المتبقي بعد ساعتين من التماس مع الماء. ويلاحظ أن كمية الكلور المتبقية لا تتناسب طردا" مع الكلور المضاف نتيجة وجود الأمونيا والمركبات

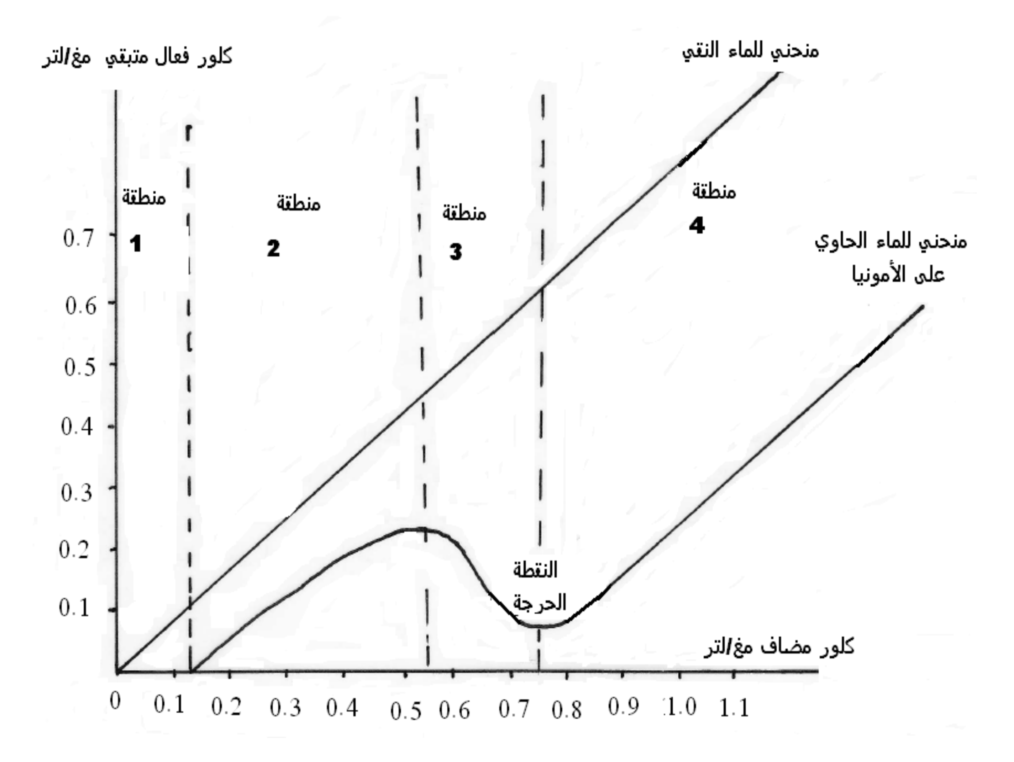
العضوية الآزوتية في الماء، ويؤدي تفاعل الكلور مع الأمونيا إلى تكوين مركبات كلور أمين الأحادية والثنائية والثلاثية والفعالة أيضا في عملية قتل البكتريا، علما" أن فعاليتها أقل من فعالية الكلور بعشرين إلى ثلاثين مرة لثنائي كلور أمين و ثلاث إلى خمس مرات أحادي كلور أمين.
يوضح الشكل(5 – 27) المنحني البياني للكلور المتبقي بعد ساعتين من التماس بدلالة الكلور المضاف، وتظهر النقطة الحرجة أو نقطة بريك على ذلك المنحني، وهناك أربع مناطق رئيسية هي:

المنطقة (1): تمثل هذه المنطقة الماء الخالي من الكلور الفعال نتيجة اختفائه بعد إضافته مباشرة بسبب تفاعله مع العناصر المعدنية القابلة للأكسدة السريعة (حديد ثنائي، منغنيز ثنائي،....،...، .) والمواد العضوية سريعة التأكسد.

المنطقة (2): يتكون في هذه المنطقة مركبات الكلور أمين والمركبات الأمينية العضوية التي تتمتع بقدرة على الأكسدة، وهذا يدل على وجود كلور فعال في الماء على صيغته الأمينية.

المنطقة (3): يمر الكلور الفعال بقيمة عظمى ويكون في صيغة كلور أمين، ولذلك فإن إضافة كمية زائدة من الكلور للعينة المائية يؤدي إلى تحطيم جزيئات الكلور أمين وانخفاض نسبة الكلور الفعال المتبقي داخل الوسط المائي، وهذا ما يوضحه المنحني البياني، ويتم تحطيم المركبات العضوية الأمينية الكلورية المسؤولة عن الطعم السيئ والرائحة الكريهة ضمن هذه المنطقة، والوصول بالنهاية إلى القيمة الدنيا اللازمة من الكلور الفعال المنحل في الماء، والممثلة بالنقطة الحرجة.

المنطقة (4): إن إضافة الكلور الحر (Cl_2) إلى الماء بعد النقطة الحرجة يؤدي إلى ارتفاع نسبة الكلور المتبقي في الماء وكأن الماء قد أصبح نقيا وغير مستهلك للكلور المضاف وبالتالي تصبح العلاقة خطية بين الكلور المضاف والكلور المتبقي، ولذلك فإن كل الكمية المضافة من الكلور بعد النقطة الحرجة تمثل تركيزا" احتياطيا" في القدرة التعقيمية للوسط المائي.



الشكل 5 – 27: المنحني البياني للكلور المتبقي بدلالة الكلور المضاف لعينة مائية نقية وأخرى تحتوي الأمونيا، وقد جرى قياس الكلور المتبقي بعد ساعتين من التماس، ويظهر على الشكل المناطق الأربع والنقطة الحرجة.

5. 7. 3 التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية UV:

يعتمد مبدأ الطريقة على عبور أشعة (UV) داخل الوسط المائي، حيث تعرّض الخلايا الحية ضمن الوسط لأشعة UV، عرف مبدأ تأثير الأشعة فوق البنفسجية منذ قرن من الزمن، ولكن تقنيات الاستعمال في مجال معالجة المياه أمكن تطويرها حديثا" (مصباح باستطاعة عالية، غرفة إشعاع بمعامل انعكاس مرتفع) والتحكم الكامل في معاملات التشغيل.

آ) مبدأ العمل:

تمتلك الأشعة فوق البنفسجية أشعة كهرمغنطيسية تشمل مجالا" من طول الموجة بين 10 إلى 400 نانومترا"، ولهذه الأشعة فعل ضوئي كيميائي يتمثل بالآتي:

- تلوين الجلد عند أطوال الموجة المحصورة بين 315 و 400 نانومترا".

- تفكيك الجسيمات العضوية الدقيقة عند أطوال الموجة المحصورة بين 200 و 280 نانومترا".
- تحويل الأكسجين إلى أوزون في مجال من طول الموجة بحدود 185 نانومترا".

إن الفعل التعقيمي للأشعة فوق البنفسجية ناتج عن الخلل الذي تحدثه في البنية الكيميائية للخلية الحية، والذي ينعكس على آلية عمل الخلية، وإن الامتصاص الأعظمي للأشعة فوق البنفسجية من قبل (ADN)، الحامل للمعلومات الوراثية، يجري عند طول الموجة 257 نانومترا"، أي أن الحالة التعقيمية الأفضل تحدث عند طول الموجة تلك.

وفقا" لكمية الأشعة التي تتلقاها الخلية الحية، فإنها تتثبط (Effet Bactériostatique) أو تتلف (Effet Bactéricide)، ويسمح الفعل التعقيمي للخلايا بالبقاء حية ولكن يحرمها من إمكانية التوالد، وبالتالي ستختفي.

الحد الأدنى من الإشعاعات لتعقيم المياه يجب أن تكون 25000 ميكرو واط في الثانية على السنتيمتر المربع .

يعطي قانون بيير- لامبيرت (Beer - Lambert) حساب الطاقة، ويأخذ في الحسبان عددا" من المعاملات المتعلقة بهذه الطاقة:

- استطاعة المصباح UV(P) بالواط.
- السطح بالمتر المربع (S).
- معامل امتصاص الأشعة UV في السائل (K) مقدرا" بالواحد على متر.
- سماكة الماء التي يعبرها الإشعاع (Y) مقدرة بالمتر.
- زمن التعرض للأشعة لواحدة الحجم (T) مقدرا" بالثانية.

ويحسب مقدار التعرض(D) مقدرا" بالجول على المتر المربع :

$$D = P / S \times \exp(-K Y) \times T$$

تعد الكمية من الأشعة المحسوبة بناء" على العلاقة كافية لوحيدات الخلايا (الميكروبات، الفيروسات، البكتريا) أما عديدة الخلايا مثل الطحالب والأعفان وأبواغها فإنها تحتاج إلى مقدار أكبر من الأشعة.

ب) التقنيات المستخدمة:

تستخدم المصابيح الزئبقية لتوليد الأشعة فوق البنفسجية التي تعطي موجة طولها 254 نانومترا"وهي القريبة من طول الموجة للفعالية العظمى (257)، ومن هذه المصابيح نوع

بالضغط العالي وعمره نحو 3000 ساعة ونوع بالضغط المنخفض ومتوسط عمره نحو 8000 ساعة.

يحتوي جهاز المعالجة عددا" من المصابيح ضمن غلاف من الكوارتز لعزلها عن الماء الذي يعبر مجاورا" لها بسماكة صغيرة لأن الماء يمتص بسرعة الأشعة فوق البنفسجية. إن الطاقة المستهلكة متعلقة بنوعية المياه المعالجة (عكارة، وجود معادن منحلة، وجود مركبات عضوية،....،... .)، ولكنها عمليا" تتراوح بين 15 إلى 40 واط ساعي للمتر المكعب من الماء المعالج، وفعالية التعقيم تتراوح بين 99% إلى 99. 99%، أما استطاعة الأجهزة لمعالجة المياه فإنها تتراوح بين بعض اللترات بالساعة إلى 1000 متر مكعب بالساعة.

يعطي الشكل (5 – 28) صورة لنموذج من الأجهزة المستخدمة لتعقيم مياه الشرب في محطات المعالجة بالأشعة فوق البنفسجية (UV)، والتي يمكن أن تعقم مياه بتدفق يصل الى 230 م^3 / ساعة، كما وتقدر الشركة المصنعة عمر المصباح نحو 14 ألف ساعة عمل.



الشكل 5 – 28: جهاز التعقيم بالأشعة UV لشركة ProMaqua .

ج) الإيجابيات والسلبيات لهذه التقنية:

أهم ميزات هذه التقنية أنها لاتستعمل المواد الكيميائية ولا تولّد مواد ثانوية ضارة، وهي سهلة الاستعمال وتكلفة الاستثمار منخفضة نسبيا".

أما السلبيات فتتلخص بأنه لا يمكن أن يستمر فعلها التعقيمي خارج منطقة العبور، إضافة إلى المياه المعقمة بهذه الطريقة يجب أن تتمتع بدرجة صفاء جيدة (العكارة أقل من واحد NTU).

5. 8 عمليات معالجة خاصة:

5. 8. 1 الترشيح على الأغشية النفوذة (Membranes):

الأغشية طبقة رقيقة جدا" مكونة من مواد تسمح تحت تأثير قوى محركة بفصل المواد الدقيقة المنحلة بالسائل. ويمكن أن تكون القوى نتيجة فرق في الضغط، أو فرق في الكمون الكهربائي أو فرق في التركيز بين جانبي الغشاء، وتستخدم ظاهرة الفرق في الضغط في مجال معالجة المياه أساسا".

آ) تصنيف الأغشية:

تصنف الأغشية ضمن أربعة أصناف رئيسية هي:

- الترشيح الدقيق (MF) – ترشيح فائق (UF)
- الترشيح الدقيق جدا" (NF) – التناضح العكسي (OI)

إن قدرة الأغشية على الفصل تتعلق ببنيتها المسامية، ونوعية المادة المصنعة منها، ونورد في الجدول (5 – 1) بعض المواصفات للأصناف المختلفة من الأغشية.

كما أن الأغشية تصنف أيضا" بناء" على الكتلة الجزيئية للغرويات أو الرواسب التي يمكن احتجازها بالغشاء، وتصنف أيضا بناءً على مجال الاستخدام.

ورغم التصنيفات المختلفة التي وضعت، فإنه من المفروض معرفة مواصفات الغشاء لاختيار الطريقة المناسبة.

الجدول 5 – 1: بعض المواصفات للأصناف المختلفة من الأغشية.

الخاصية	MF	UF	NF	OI
أبعاد المسام في الطبقة السطحية	0.5 إلى عدد من الميكرونات	عدد من النانومتر إلى 100 نانو متر	1 نانومتر	أقل من واحد نانومتر
النفوذية للماء المقطر في 20^{o}م	10^{-8} – 10^{-9} م / ثا باسكال	10^{-9} – 10^{-10} م / ثا باسكال	10^{-11} م/ ثا باسكال	10^{-11} – 10^{-12} م / ثا باسكال
الاستعمالات	يحتجز البكتريا الممرضة والأكياس والجسيمات المعلقة المسببة للعكارة	يحتجز الفيروسات وجزءا" من المركبات العضوية الدقيقة المنحلة	يحتجز المركبات العضوية الدقيقة المنحلة وكذلك بعض الشوارد المعدنية عديدة التكافؤ	يحتجز الشوارد المعدنية وحيدة التكافؤ، وفصل بعض الجزيئات العضوية الدقيقة

ب) أنواع الأغشية:

الأغشية الصناعية محضرة من بوليميرات عضوية أو من مواد لا عضوية (معادن, أكسيد معدني، زجاج، كربون السيليس،...،... .)، البوليميرات الأساسية المستعملة في تصنيع الأغشية هي:

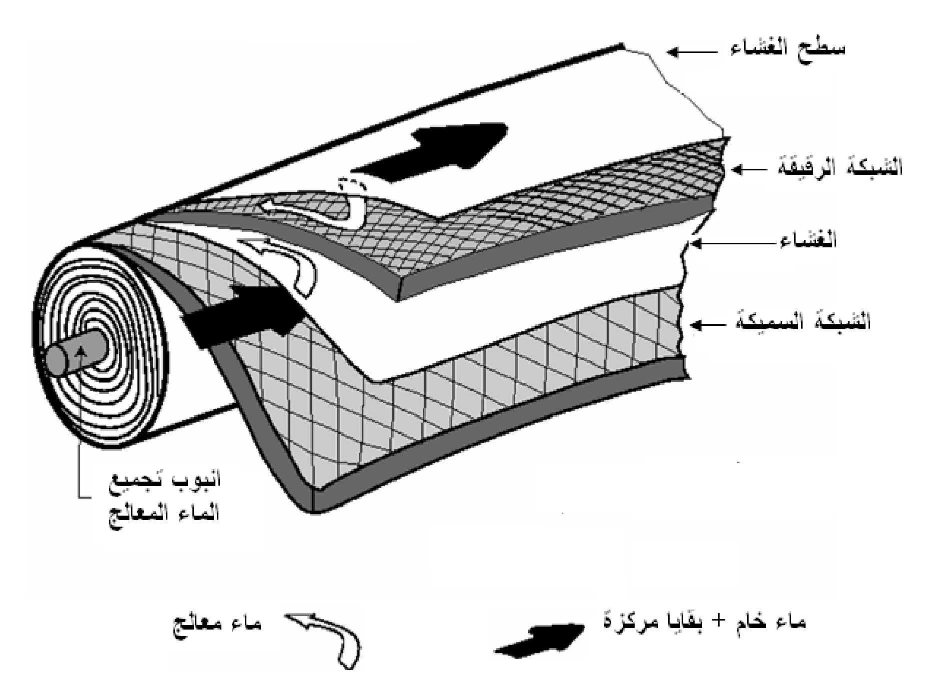
- البوليميرات المشتقة من السليلوز (أسيتات، سليلوز مجدد،...،... .).
- بولي أميد.
- بولي سلفون، بولي ايتر سلفون.
- بوليميرات أخرى متعددة (بولي إتيلين، فلور بولي ڤينيليدين، بولي كربونات،...، .).

يصنع الغشاء على شكل شرائح أو على شكل أنبوبي، وباستثناء الأغشية المستخدمة في الترشيح الدقيق (MF)، فإن الأغشية تمتلك بنية غير متناسقة، بمعنى آخر فإن الأغشية مكونة من طبقة سطحية رقيقة جدا" سماكتها (0.1 إلى 0.5 ميكرون) وذات مسامية دقيقة، بينما الطبقات الداخلية تكون أكثر سماكة ومسامها أكبر بكثير، وتجري عملية الترشيح على الطبقة السطحية بينما الطبقات الأدنى تؤمّن مقاومة ميكانيكية جيدة للغشاء، ويمكن أن تختلف تركيبة الطبقة السطحية عن الداخلية من الناحية الكيميائية، وعندها تسمى الأغشية المركبة (TFC).
إن نفوذية الغشاء لماء مزال الملوحة تتعلق بمساميته، تعبر النفوذية عن نسبة سرعة النفوذ للماء المقطر على الضغط الناتج في درجة حرارة معينة ووحدة القياس هي (م^3 / م^2. ثا. باسكال).
إن قياس النفوذية يسمح بتحديد حالة الغشاء، ولا سيما ظاهرة ترسب المواد على سطحه وانسداد المسام، وتتعلق النفوذية بلزوجة السائل العابر للغشاء وتتناسب معه عكسيا"، فعلى سبيل المثال وبالأخذ في الحسبان معامل اللزوجة فقط، فإن النفوذية تنخفض بنسبة 40% إذا انخفضت درجة الحرارة من 20^o م إلى 2^o م، بسبب ارتفاع اللزوجة.
نظرا لكون الأغشية ضعيفة النفوذية، يجب زيادة السطح لتعويض ذلك، مما دعى المصنعين للأغشية إلى تطوير عدة أشكال من الأغشية الصناعية والتي يتراوح سطحها بين 10 إلى 100 م2 للغشاء الواحد.

1 – النوع الحلزوني (Modules Spirales):

يتكون هذا النوع من شرائح الغشاء الملفوفة بشدة حول أنبوب مثقب وجامع للماء المعالج . من جهة فإن الأغشية مفصول بعضها عن بعض بشبك بلاستيكي يسمح بسيلان مائل للماء المراد

معالجته، ومن جهة أخرى فإن الأغشية مفصولة بشبك بلاستيكي أكبر نعومة يسمح بالتجميع والتوجيه للماء المعالج إلى أنبوب التجميع، كما أن لهذا الشبك دورا" في تحرك التيار العابر له، وأكثر الأغشية الحلزونية المستعملة تتمتع بقطر قدره 0.2 م وطول واحد متر، ويحتوي على 40 $م^2$ من الغشاء. إن هذا النوع من الأغشية لا يسمح بإجراء عملية غسيل في أثناء الاستثمار، ويعطي الشكل (5 – 29) مقطعا" للأغشية الحلزونية.



الشكل 5 – 29: مقطع الأغشية الحلزونية.

2- النوع الأنبوبي:

الشكل الأنبوبي يحتوي عددا" من الأنابيب ضمن سلسلة (عشرات الأنابيب)، يمرر الماء المراد معالجته داخل الأنابيب والماء المعالج يُؤخذ من خارج الأنابيب. والأنابيب مكونة من قنوات للتدفق على نحو مائل، وهذا هو الشكل الجيد الذي يمكن تنظيفه ميكانيكيا، إن حركة السائل داخل الأنابيب مضطربة، بسبب أبعاد القنوات المائلة، مما يجعل هذا النظام أكثر اقتصادا" في الطاقة.

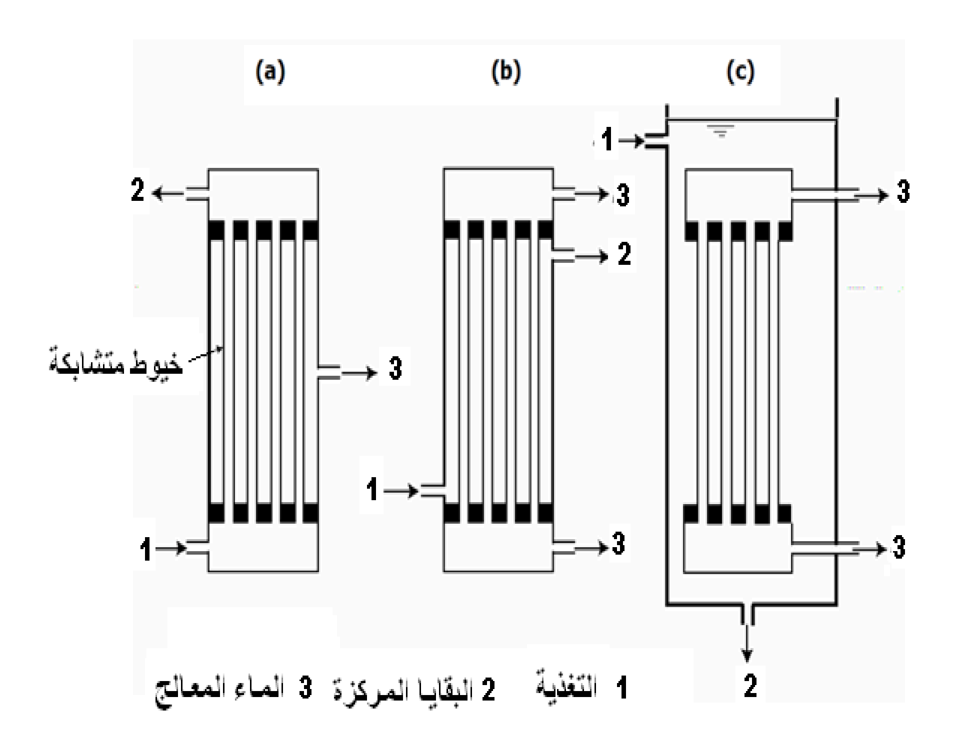
3- نوع الخيوط المتشابكة (Modules a` Fibres Creuses)

تُجمع الخيوط المتشابكة على نحو متوازٍ ضمن نموذجين هما:

النموذج الأول المسمى داخليا"– خارجيا" (Configuration Int – Ext)، ويشبه في آلية مرور الماء بالشكل الأنبوبي، حيث يمر الماء داخل الخيوط المتشابكة، والماء المعالج يستقبل من الخارج، ويوضح الشكل (5 –30 – a) مخططا لهذا النموذج .

النموذج الثاني والمسمى خارجيا"– داخليا" (Configuration Ext - Int)، يمر الماء في هذا النظام من خارج الأغشية ويستقبل الماء المعالج من داخل الأغشية، ويكون التدفق داخل الشبكة الخيطية حرا"، يعطي الشكل(5 – 30 b , c) مخططا" لهذا النموذج.

في حالة النموذجين فإن الأغشية تجمع في حزمة ونهاياتها مربوطة داخل غطاء القناة الجامعة التي تفصل بين الماء المعالج والماء الخام، ويمكن استعمال التنظيف المستمر في هذا النوع .



الشكل 5 – 30: النماذج الثلاثة لأغشية الخيوط المتشابكة.

ج) نماذج من نظم المعالجة بالأغشية المستعملة لإنتاج مياه الشرب:

يتضمن نظام المعالجة بالأغشية عادة الأجزاء الآتية:

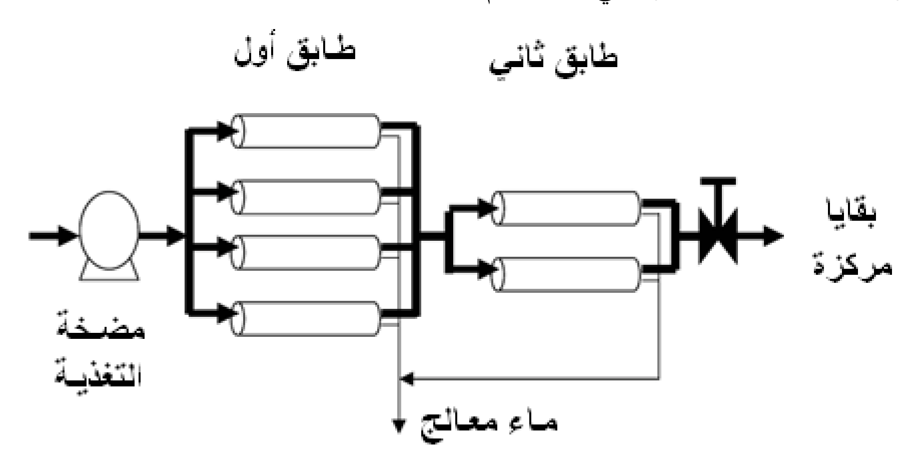
- نظام معالجة أولية (طريقة فصل للمواد أو إضافة كواشف كيميائية).
- مضخات، نظام خلط.
- الأغشية.

- وحدة معالجة كيميائية (عند الحاجة).

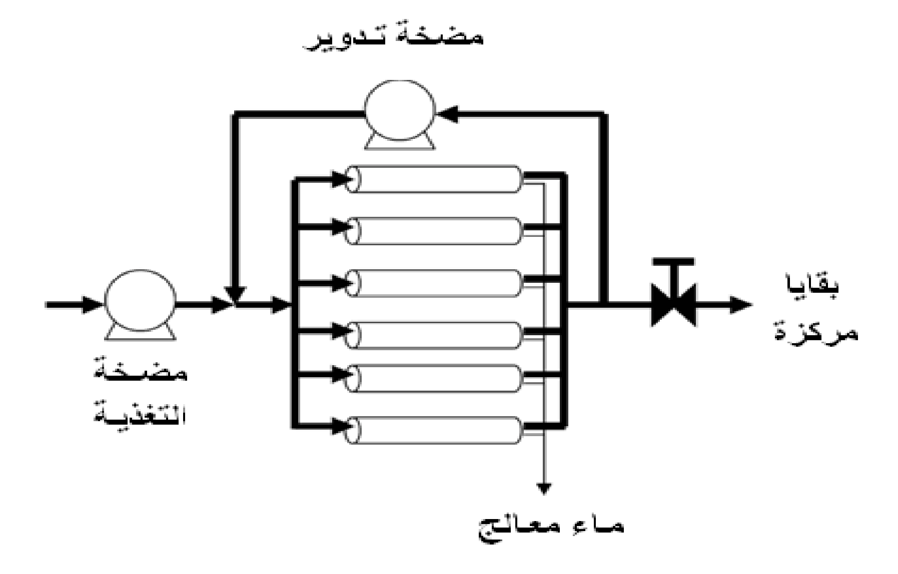
ووفقا" للطريقة المطبقة والفرق بالضغط بين وجهي الغشاء ΔP (pressionTransmembranaire)، يمكن تمييز نوعين من النظم: نظم الترشيح تحت الضغط، ونظم الأغشية المغمورة.

1 – نظم الترشيح الغشائي تحت الضغط:

تتوضع الأغشية في هذا النظام ضمن أغلفة تتحمل الضغط العالي، وتستعمل المضخات لإدخال الماء المراد معالجته داخل الأغشية، وتؤمن تلك المضخات ضغطا يسمح باستمرار التدفق عبر الأغشية (الشكل 5 – 31)، ويمكن استعمال مضخة إضافية لتدوير المحلول المركز في داخل المجموعة الغشائية (الشكل 5 – 32)، كما أن وجود منظمات التدفق تسمح بالتحكم في فرق الضغط (ΔP) ونسبة الاستعادة الكلية (المردود)، وإن كل الأنواع من الأغشية الواردة أعلاه، يمكن استثمارها في هذا النظام.



الشكل 5 – 31: نظام الترشيح الغشائي ثنائي الطوابق وتحت الضغط.



الشكل 5 – 32: نظام الترشيح الغشائي تحت الضغط مع مضخة تدوير للبقايا المركزة.

2 – نظم الترشيح الغشائي المغمورة:

يغمر النموذج الغشائي ضمن حوض الماء المراد معالجته، الجهة المغذاة بالماء الخام توضع تحت الضغط، بينما يطبق تخلخل جزئي على الجهة الأخرى من الغشاء. إن تحريك الماء بجوار الغشاء يخفف من عملية التراكم للرواسب على سطحه، لا تستثمر هذه الطريقة في مجال معالجة مياه الشرب إلا في حالة استعمال نوع الأغشية الخيطية المتصالبة، ويعطي الشكل (5 – 30 – c) الوارد أعلاه مخططا" لهذه الطريقة.

يتعلق اختيار نظام المعالجة أو الطريقة أو نوعية الغشاء بعوامل عديدة، أهم تلك العوامل الغاية المرجوة من استعمال الترشيح الغشائي، إزالة الملوحة، أم إزالة الملوثات الحيوية، درجة النقاوة المطلوبة، أو أهداف أخرى، وكذلك نوعية المياه الخام، هل هي جوفية غنية بالأملاح وتحوي ثناني أكسيد الكبريت مثلا"، أم سطحية ذات تلوث عضوي مرتفع، وأهم من كل ذلك العامل الاقتصادي الذي يحدّ في معظم الحالات من الخيارات المطروحة.

إن التدفقات المراد معالجتها تؤدي دورا" في اختيار الطريقة المتبعة، وكذلك مصادر الطاقة المتوفرة، ونورد في الجدول(5 – 2) حدود سرعة النفوذية وفرق الضغط، للأنواع المختلفة من أنظمة الترشيح الغشائي، والتي تعدَ من العوامل المهمة في اختيار طريقة المعالجة.

الجدول 5 – 2: سرعة النفوذية وفرق الضغط للأنظمة الغشائية المختلفة.

نوع النظام	سرعة النفوذية لتر / سا. م^2	ΔP	
		KPa	Psi
O I	15 - 10	6000 – 500	800 – 70
N F	35 – 15	1400 – 400	200 – 60
NUF	100 – 20	700 – 100	100 – 15
UMF	150 – 40	100 - 30	15 – 5

د) محطات الترشيح الغشائي:

نظرا" لعبور الماء المحمل بالأملاح لسطح الغشاء فلا بد من حصول عملية تراكم للمواد على سطحه، وينتج عن ذلك زيادة ظاهرة انسداد المسام وارتفاع الضغط التناضحي، وهناك ثلاثة حلول، يمكن أن تكون مجتمعة، للحد من تراكم المواد على سطح الغشاء وهي:

- تخفيض سرعة السائل العابر للغشاء، وهذا يتطلب زيادة سطح الغشاء.
- إجراء غسيل دوري للغشاء، وهذا يتطلب أن يتمتع الغشاء ببنية ميكانيكية تسمح بعبور السائل بالاتجاهين.
- عدم اصطدام السائل عموديا" مع سطح الغشاء بل على نحو مائل، بجعل السائل يعبر موازيا" لسطح الغشاء، ويؤثر ذلك في نسبة الأملاح المحتجزة، ولذلك نرى تقنيات مختلفة تهدف من جهة إلى دخول الماء على نحو مائل مع سطح الغشاء، ويكون تأثيرها السلبي في المردود أقل ما يمكن.

تزال العناصر المحتجزة على سطح الغشاء في صورة محلول مركز، إن معدل الاستعادة (Taux de Récupération) يعادل نسبة الماء العابر للغشاء إلى الماء الخام الداخل، فعلى سبيل المثال إذا كان معدل الاستعادة 75% فإن تدفق الماء المعالج الخارج من الترشيح يعادل 75% من الماء الخام الداخل لوحدة المعالجة، و 25% المتبقية تكون المحلول الملحي المحتجز خلف الغشاء ذا التركيز 400 % من تركيز الأملاح في المياه الخام، وإن معدل الاستعادة في الترشيح المجهري (MF) والترشيح الفائق (UF) يتراوح بين 85% إلى 97%. أما في نظام الترشيح الدقيق جدا" (NF) فإن معدل الاستعادة يتراوح بين 65% و 80% .

في معظم الحالات، فإن المحلول المركز المحتجز خلف الغشاء يسحب باستمرار، أي أن هناك تيارا" داخلا" إلى المرشح (الماء الخام) وتيارين خارجين منه (الماء المعالج، والمحلول المركز)،

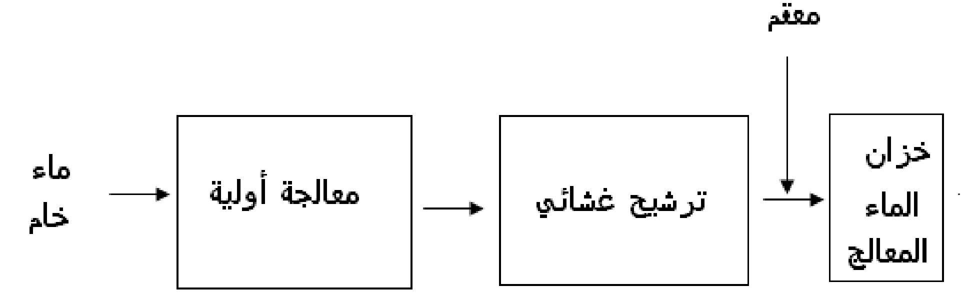
من أجل تدفق محدد من المياه المراد معالجتها، فإنه عموما" تضبط التجهيزات على إعطاء تدفق ثابت من الماء المعالج، مما يؤدي إلى زيادة الترسبات على السطح مع زمن التشغيل وبالتالي زيادة الضغط الخلفي.

1 – مراحل محطة المعالجة بالترشيح الغشائي باستعمال أنواع المرشحات MF أو UF أو NF :

نورد فيما يلي نماذج مختلفة لمحطات المعالجة باستعمال الترشيح الغشائي التي لا تتضمن الترشيح بالضغط الحلولي (OI).

- نموذج أول :

الترشيح الغشائي مسبوق بمعالجة أولية ومنته بالتعقيم فقط، وتحدد شروط المعالجة الأولية بناء" على مواصفات الماء الخام ولاسيما درجة العكارة، ولكن هذا النموذج يطبق عموما"على المياه ذات العكارة الخفيفة، أو لإزالة ملوثات محددة من الماء لم تتمكن طرائق المعالجة التقليدية من إزالتها، ويعطي الشكل (5 – 33) مخططا" لذلك النموذج.

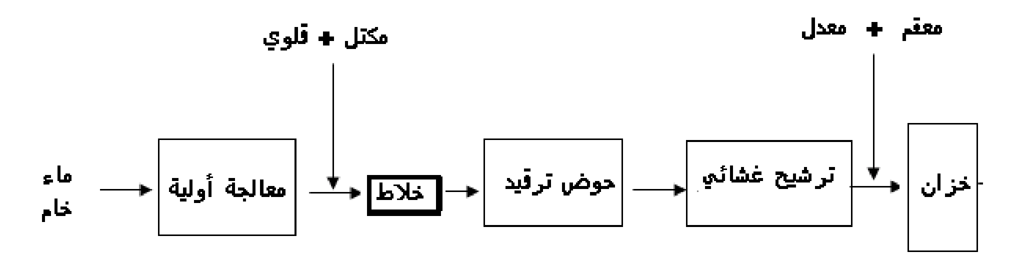


الشكل 5 – 33: مراحل محطة معالجة بالترشيح الغشائي من النموذج الأول.

يمكن أن يضاف مانع للتكلس قبل الترشيح الغشائي وبحسب الحاجة.

- نموذج ثانٍ:

ترشيح غشائي مع عملية تكتل وترقيد إضافة إلى المعالجة الأولية والتعقيم وتعديل عند الحاجة، ويستعمل هذا النموذج (الشكل 5 – 34) عندما تكون المياه محملة بالمواد المعلقة ودرجة عكارتها مرتفعة.

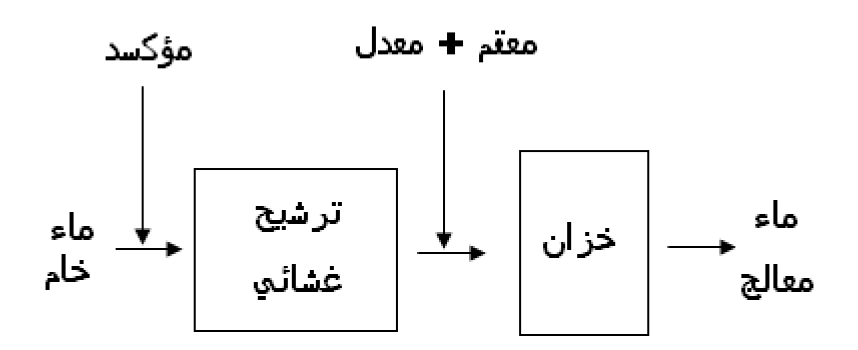


الشكل 5 – 34: مراحل محطة معالجة بالترشيح الغشائي من النموذج الثاني.

ويرتبط استعمال القلوي والمعدل (حمض أو أساس) بالحاجة إلى تعديل الوسط بما يتناسب مع شروط العمل.

- **نموذج ثالث:**

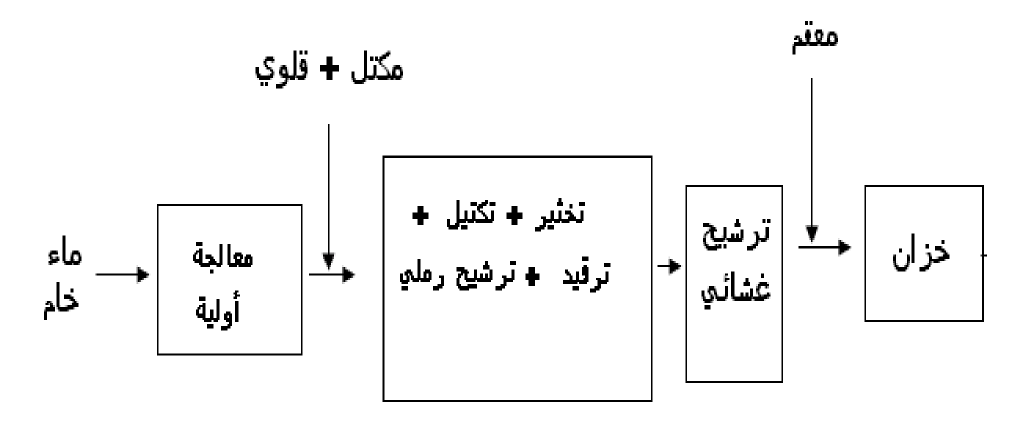
يتضمن هذا النموذج مرحلة أكسدة قبل الترشيح الغشائي(الشكل 5 – 35)، وتعقيم وتعديل عند الحاجة، ويطبق في حالة وجود ملوثات عضوية مرتفعة يجب التخلص منها قبل الترشيح.



الشكل 5 – 35: مراحل محطة معالجة بالترشيح الغشائي من النموذج الثالث.

- **نموذج رابع:**

يمثل هذا النموذج استعمال الترشيح الغشائي في محطة معالجة مياه الشرب المتكاملة المراحل (التقليدية)، ويتوضع قبل التعقيم مباشرة ويكون الهدف منه إما زيادة نقاوة ماء الشرب المطلوبة، أو التخلص من ملوث لم تتمكن المراحل السابقة من إزالته (النترات، أو شاردة معدنية ضارة، على سبيل المثال)، ويكون الغشاء االمستعمل عادة من النوع الدقيق جدا" (NF).



الشكل 5 – 36: مراحل محطة معالجة بالترشيح الغشائي من النموذج الرابع.

2 – مراحل المعالجة مع أغشية التناضح العكسي (OI):

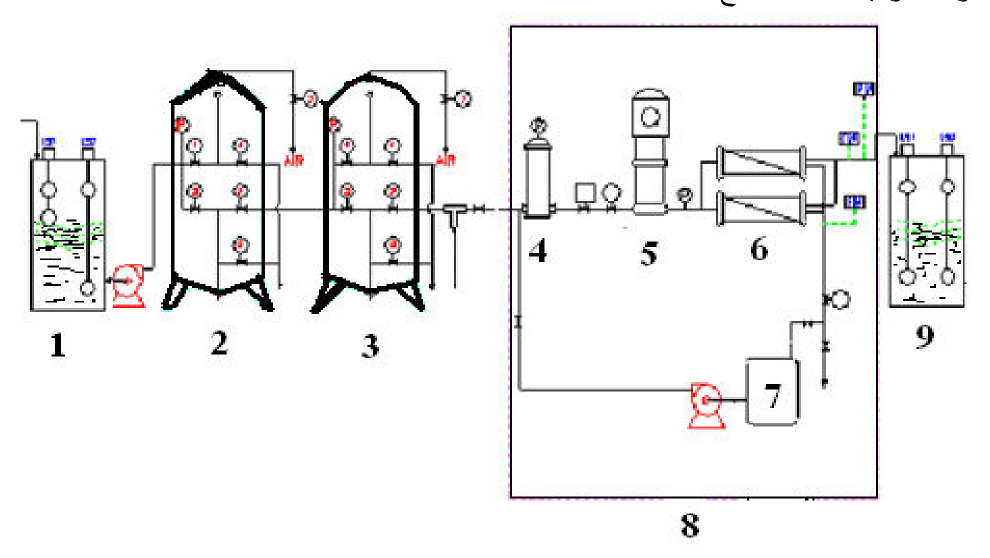
التطبيق الأساسي لهذا النظام في مجال إنتاج مياه الشرب عندما يكون الماء الخام مالحا" جدا" وخاصة مياه البحر (ملوحة قدرها 30 غ / لتر)، والمياه الجوفية (ملوحة تتراوح بين 1.5 إلى 3 غ /لتر)، لهذا فإنه يستعمل عندما تكون الشوارد الأحادية التكافؤ عالية التركيز، كما أن هذا النظام قادر على تخليص الماء من العديد من الملوثات، نذكر منها: المبيدات والعناصر المشعة والزرنيخ والبور والنترات والنتريت.

نظرا" إلى كون الأغشية المستخدمة في هذا النظام من النوع الحلزوني، يجب إجراء ترشيح أولي من مرتبة (1 إلى 25 مكرون) قبل مرحلة (OI)، ويمكن أن تشمل المعالجة الأولية الترشيح بنظام (UF)، كما أن محطة المعالجة المتضمنة (OI) يجب أن تشمل نظام التعديل الكيميائي لكل من pH الوسط والقلوية والقساوة، ويعطي الجدول (5 – 3) فعالية أغشية التناضح العكسي في إزالة الملوثات المعدنية والحيوية من الماء المعالج بشرط تأمين ترشيح أولي جيد، وإجراء عملية المعالجة بالتناضح العكسي ضمن شروط مضبوطة تماما" لمنع تحول الغشاء إلى بؤرة لنمو الأحياء الدقيقة.

الجدول 5 – 3: فعالية نظم التناضح العكسي (نسبة الإزالة).

المادة	نسبة الإزالة (%)	المادة	نسبة الإزالة (%)
بكتريا	99	نترات	98
وحيدة الخلية	99	مبيدات	98
كادميوم	99	رصاص	99
زنك	99	فوسفات	99
باريوم	99	زرنيخ	99
منغنيز	99	زئبق	98
عكارة	99	نحاس	99
ألمنيوم	99	حديد	99

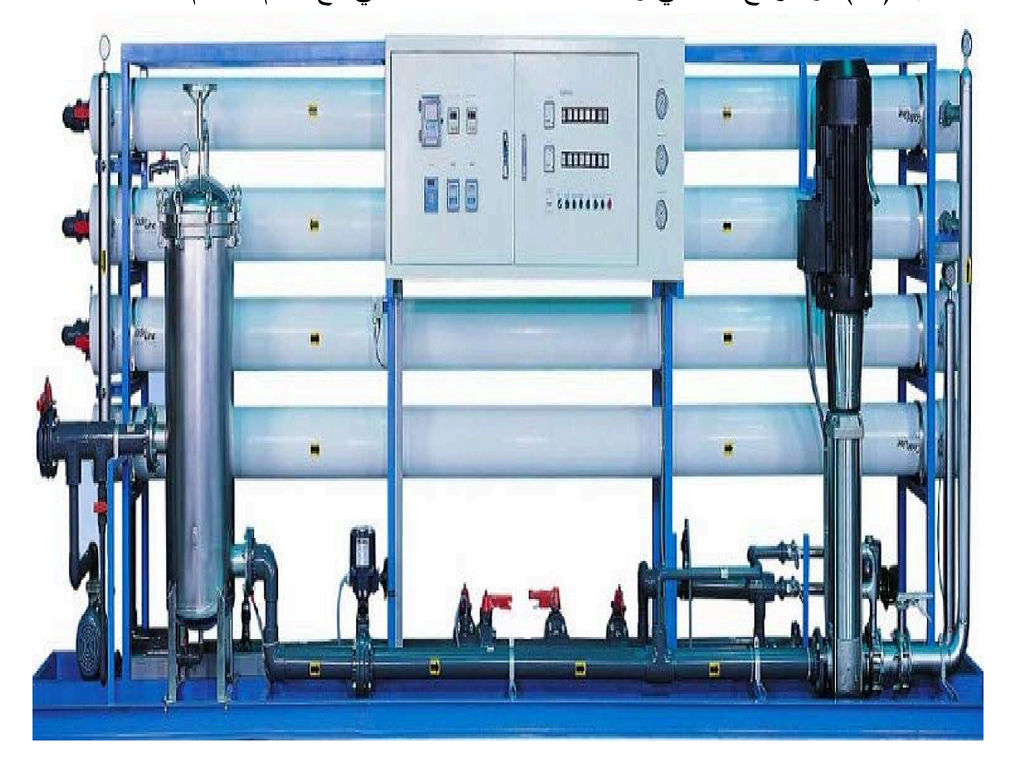
ويعرض الشكل (5 – 37) مخططا" لمراحل المعالجة الكاملة، التي يمكن اختصار أي منها وفقا" لنوعية الماء المعالج.



1 خزان مياه خام، 2 مرشح رملي، 3 مرشح فحم منشط، 4 مرشح غشائي، 5 مضخة ضغط مرتفع، 6 الأغشية، 7 مادة منظفة، 8 نظام التناضح العكسي، 9 الماء المعالج.

الشكل 5 – 37: مراحل محطة معالجة باستعمال وحدة التناضح العكسي (OI).

وتوضح الصورة الواردة في الشكل (5– 38) نظام التناضح العكسي المكون من أربعة أنابيب للأغشية (OI)، والمرشح الغشائي والمضخة ذات الضغط العالي مع نظام التحكم.



الشكل 5 – 38: صورة لنظام التناضح العكسي (OI).

3– المواد الكيميائية المستعملة في وحدات المعالجة بالترشيح الغشائي:

تستعمل عدة كواشف ومواد في محطات الترشيح الغشائي، ويكون استعمالها بحسب مراحل المعالجة، ونوعية المياه الخام ومن أهم تلك الكواشف والمواد:

1) عامل مضاد للتكلس (معالجة أولية، إضافة مع الماء الخام الداخل).
2) مكتل (معالجة أولية).
3) حموض (معالجة أولية، غسيل، تعديل الوسط).
4) مادة معقمة (بعد المعالجة، وأحيانا" يجري تعقيم أولي للماء الخام).
5) قلوي (تعديل الوسط ، غسيل الأغشية)
6) مادة منظفة
7) الإنزيمات

4 – وسائل التخفيف من ظاهرة انسداد المسام الغشائية:

إن السياسة العامة لتجنب انسداد المسام تعتمد على إزالة العناصر المسببة لتلك الظاهرة قبل الترشيح الغشائي أو تجنب انسداد المسام وهي ضمن وسط الترشيح. والخيار الثاني يمكن تحقيقه بضبط شروط التشغيل، أو بتحويل تلك العناصر(المركبات) إلى عناصر أخرى أقل فعالية في سد المسام.

في حالة المعالجة الأولية يمكن أن تجرى ضمن أحد الأوجه الآتية:

- ترشيح أولي على مرشح رملي، وقد يكون مرشحا" غشائيا" أوليا" في بعض الحالات.
- تعديل قيمة pH الوسط (تحميض الوسط عادة) من أجل إزاحة التوازن الانحلالي للأملاح باتجاه معاكس لشروط ترسبها (أملاح الحديد، المنغنيز، الكالسيوم، الباريوم)
- إضافة معامل مضاد للتكلس لمنع ترسب الأملاح على سطح الغشاء.
- إجراء عملية تكتل للمركبات العضوية الطبيعية، لأن تأثير الكتل في انسداد المسام أقل من تأثير المواد الغروية.
- إزالة الحديد لمنع ترسبه عند تأكسده داخل الوسط المائي وترسبه على سطح الأغشية.

أما سياسة التخفيف من ظاهرة الانسداد فتعتمد على تخفيف سرعة الترشيح، والعمل بضغط أقل، أو التحكم في الجريان داخل المرشح بحيث يخفف من ظاهرة تراكم الرواسب على سطح الغشاء وبالتالي التخفيف من معدل انسداد المسام. أما تخفيف ظاهرة التكاثر الحيوي على سطح الغشاء فيمكن معالجتها بالتعقيم بين حين وآخر.

5 – تقنية الغسيل:

تجرى عملية الغسيل عند وصول سرعة التدفق للماء المعالج إلى قيمته الدنيا الحدية، أو وصول الضغط إلى حده الأعلى، أو الوصول إلى الزمن المعتمد في النظام الترشيحي، وتهدف عملية الغسيل إلى إزالة المواد الصلبة المترسبة على الأغشية أو داخل المسام وإطالة عمر الغشاء. وتستعمل عدة طرائق للغسيل منها:

- الغسيل العكسي السريع (Retrolavage) بالماء أو الهواء، وتتم العملية كل 15 أو 60 دقيقة وتستمر لمدة تتراوح بين نصف دقيقة ودقيقة واحدة.
- التنظيف الميكانيكي بكرة إسفنجية (ولاسيما للنموذج الأنبوبي من الأغشية).
- التنظيف الكيميائي للأغشية، بوساطة تدوير محاليل التنظيف الكيميائية.

5. 8. 2 إزالة قساوة (عسر) المياه باستعمال الكلس الحي:

لا تسمح طريقة المعالجة بالكلس الحي إلا بإزالة القساوة الكربوناتية (القساوة المؤقته)، ولاسيما المرتبطة بالكالسيوم والمغنزيوم، وليس لها فعالية على القساوة الدائمة (القساوة غير الكربوناتية).

إن تقنية إزالة الكربونات أو ما يسمى بإزالة القساوة المؤقتة للماء بدأت منذ مدة زمنية طويلة ومازالت مستخدمة حتى الآن، مع إجراء عمليات تطوير على الأجهزة المستخدمة من جهة، وعلى الكواشف المستعملة وخاصة المواد المساعدة على التكتل وعلى الترسيب.

عند وضع الكلس الحي في الماء، يتفاعل معه بسرعة مع نشر للحرارة معطيا" هيدروكسيد الكالسيوم أو ما يسمى بالكلس المطفأ الذي يستعمل في عملية الترسيب:

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

تتفاعل شوارد الهيدروكسيل (OH^-) مع شوارد الكربونات الحمضية لتعطي الكربونات قليلة الانحلال بالماء، حيث يجري ترسيبها ضمن حوض الترسيب، وتلخص المعادلات التالية التفاعلات الأساسية لعملية الترسيب:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2H_2O + 2CaCO_3 \downarrow$$

$$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons 2H_2O + MgCO_3 \downarrow + CaCO_3 \downarrow$$

$$MgCO_3 + Ca(OH)_2 \rightleftharpoons Mg(OH)_2 \downarrow + CaCO_3 \downarrow$$

إن تلك التفاعلات تزيل القساوة المؤقتة للماء ولا تؤثر في القساوة الدائمة، غير أن هيدروكسيد الكالسيوم يستمر في تفاعلاته مع الأملاح الأخرى المنحلة في الماء ويرسب جزءٌ منها:

$$MgCl_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaCl_2 \downarrow$$

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \longrightarrow Mg(OH)_2 \downarrow + CaSO_4$$

كما أنه يتفاعل مع غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر المنحل في الماء :

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 \downarrow + H_2O$$

إن القلوية المتبقية في المياه المعالجة تكون عادة بين 2 و 3 درجة فرنسية (F°)، وهذه القيمة منخفضة لذلك يمزج جزءٌ من المياه المعالجة مع جزء من الماء الخام من أجل الحصول على درجة قلوية كلية (TAC) مقبولة ضمن الأنظمة المعتمدة لمياه الشرب.

بهدف تحسين أداء عملية الترسيب يضاف إلى الماء كمية صغيرة من الكربونات المبلورة التي تؤدي دور المكتل، ولذلك فإن الجهاز المستخدم لعملية المعالجة بالكلس الحي يجب أن يحتوي منطقة تسمح بإجراء عملية المزج بين الكتل المتبلورة والماء الخام الداخل. كما أن إضافة مواد مخثرة مثل كلور الحديد أو مواد بوليميرية مكتلة أو الاثنين معا" يحسن أداء عملية الترسيب ويسرعها، ويصبح الفصل بين الراسب والماء أفضل. تجرى عملية إزالة القساوة بالكلس المطفأ والمزال منه الرواسب، وتستخدم تجهيزات تتضمن أساسا" حوض المزج والترسيب، ونورد في الشكل (5 – 39) مخططا" لوحدة معالجة بالكلس الحي.

إن الجرعة النظرية للكلس المطفأ [$Ca\ (OH)_2$ بتركيز قدره 100%] للحصول على ترسيب جيد لكربونات الكالسيوم تعطى بالعلاقة الآتية:

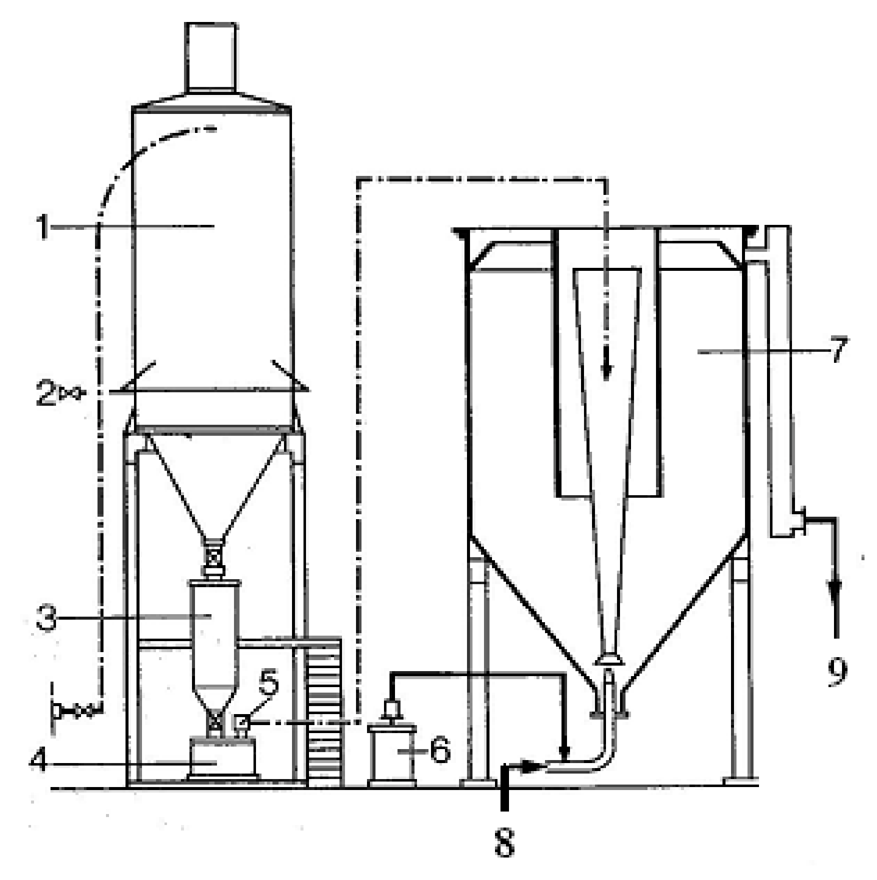
$$\mathbf{M = 7.4\ (TAC + C)}$$

علما أن (M) هي كمية هيدروكسيد الكالسيوم المضافة مقدرة بغرام لكل واحد متر مكعب ماء معالج، وتمثل (C) تركيز ثنائي أكسيد الكربون الحر المنحل مقدرا" بالدرجة الفرنسية ($1\ F^\circ = 4.4\ mg\ CO2 / l$) و (TAC) هي القلوية الكلية مقدرة أيضا بالدرجة الفرنسية ($1\ F^\circ = 10\ mg\ CaCO_3 / l$).

لا تحدد النظم عادة قيمة محددة للقساوة في مياه الشرب، ولكن تؤكد أنها يجب أن تكون غير قاسية، ونبحث عادة لتخفيف (TAC) لتكون بين 10 إلى 20 درجة فرنسية أي مايعادل 100 إلى 200 مليغرام في اللتر من كربونات الكالسيوم.

عمليا" يمكن استعمال العلاقة الآتية على نحو تقريبي لتحديد كمية الكلس الحي المضاف:

$$CaO\ (g / m3) = 8\ (\Delta\ TH)$$



1) خزان إطفاء الكلس، 2) هواء مضغوط لجعل الراسب معلق، 3) معيار رائق الكلس، 4) حوض تمديد رائق الكلس، 5) مضخة رائق الكلس، 6) معيار المخثر المضاف، 7) المرقد، 8) مدخل الماء الخام، 9) الماء المعالج.

الشكل 5 – 39: مخطط وحدة ترسيب الكربونات بالكلس الحي {33}.

5. 8. 3 إزالة قساوة المياه بالصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم):

إن إضافة هيدروكسيد الصوديوم إلى الماء المحمل بالكربونات الحمضية، يعطي التفاعلات الآتية:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2\,NaOH \longrightarrow CaCO_3 + Na_2CO_3 + 2\,H_2O$$

وتتفاعل كربونات الصوديوم الناتجة مع كربونات الكالسيوم الحمضية:

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + 2\,NaHCO_3$$

وكذلك فإن كربونات الصوديوم تتفاعل مع مركبات القساوة الدائمة في وسط قلوي:

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

$$Na_2CO_3 + CaCl_2 \longrightarrow CaCO_3 + 2\,NaCl$$

وتشكل كربونات الكالسيوم المتبلورة بؤر تجمعٍ لبلورة الرواسب، ورفع حجم الجسيمات المعلقة.
تؤكد التفاعلات الكيميائية أعلاه أن جزيئا" غراميا" واحدا" من (NaOH) يزيل جزيئا" غراميا" واحدا" من الكالسيوم (Ca^{++}) وجزيئين غراميين من الكربونات الحمضية (HCO_3^-) وينتج جزيء غرامي واحد من الكربونات (CO_3^{--}). ومن أجل تعديل درجة فرنسية واحدة (°F)، يجب إضافة (0.1 جزيء غرامي) أي ما يعادل (4 غرام لكل متر مكعب ماء) من هيدروكسيد الصوديوم النقي.
من جهة أخرى، فإن الصودا المضافة تعادل أيضا غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء:

$$CO_2 + NaOH \longrightarrow NaHCO_3$$

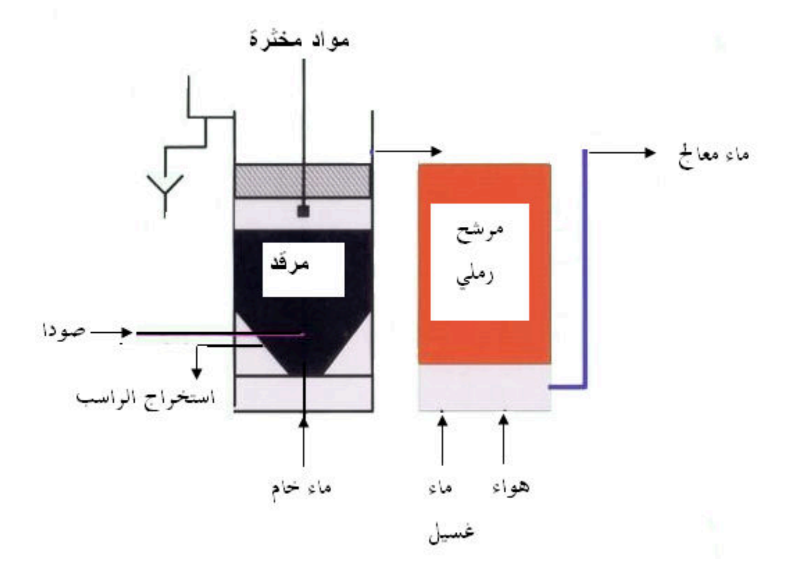
من أجل تعديل غرام واحد من غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر يجب إضافة (0.91 غرام) من الصودا النقية، واعتمادا" على ما ورد أعلاه يمكن صوغ علاقة استهلاك الصودا النظرية بعملية التعديل كالآتي:

$$M_{NaOH} = (4 \times \Delta TH_{Ca}) + (0.91 \times \Delta CO_2)$$

حيث تمثل (M_{NaOH}) غراما" من الصودا اللازمة لتعديل درجة فرنسية واحدة في المتر المكعب ماء).

- طريقة العمل :

تجري عملية إزالة الكربونات بالصودا ضمن حوض ترقيد حيث ترتفع قيمة (pH) الوسط وتتكون جسيمات معلقة يمكن زيادة سرعة إنتاجها وزيادة حجمها بإضافة مواد مخثرة أو جسيمات ناعمة من السيليس، وتتدفق المياه المعالجة من المرقد إلى مرشح رملي للتخلص من المواد المعلقة. ويوضح الشكل (5 – 40) مخطط عملية إزالة القساوة الكربوناتية بالصودا.



الشكل 5 – 40: مخطط وحدة إزالة القساوة الكربوناتية بالصودا.

ومن أهم ميزات استعمال هيدروكسيد الصوديوم مقارنة بالكلس الحي النقاط التالية:

- نتجنب مشكلة تحضير رائق الكلس.
- يمكن معالجة المياه الباردة.
- حركية التفاعل سريعة جدا".
- الراسب على شكل حبيبي وليس على شكل وحلي.
- كمية الكربونات الناتجة تعادل نصف الكمية الناتجة باستعمال الكلس الحي.

5. 8. 4 إزالة قساوة المياه باستعمال كربونات الصوديوم:

يمكن استعمال كربونات الصوديوم بانفراد لإزالة القساوة، أو تضاف، مع الكلس الحي وفي الحالتين تستخدم أحواض ترقيد مشابهة لما ورد سابقا مع الكلس الحي. يحضر عادة محلول بتركيز 8% من كربونات الصوديوم إذا كانت درجة حرارة الجو المحيط تتراوح بين 10 إلى 15 درجة مئوية، أما في المناطق الحارة والتي تتراوح درجة حرارتها بين 30 إلى 40 مئوية فيمكن استعمال محاليل بتراكيز تصل إلى 30 % من كربونات الصوديوم.

5. 8. 5 إزالة قساوة المياه بالطريقة الكهرليتية (Électrolytique):

تعتمد هذه الطريقة على عبور الماء لحقل كهربائي مولد من قبل مجموعة من الأقطاب الموجبة والسالبة مثبتة داخل مفاعل على نحو متبادل. حيث يتولد على القطب الموجب شوارد

الهيدروكسيل (OH^-) التي تولد وسطا" قلويا" يزيح التوازن الكربوناتي باتجاه تشكيل كربونات الكالسيوم وبالتالي ترسبها. أما القطب السالب فإنه يولد شوارد الهيدروجين (H^+) التي تتفاعل مع الكربونات الحمضية منتجة غاز ثنائي أكسيد الكربون الذي يتصاعد وينطلق أو يجري تعديله في أثناء عبوره المفاعل. والرواسب المتشكلة تتجمع في قعر المفاعل وتزال باستمرار. تستهلك هذه الأنواع من الأجهزة (0.5 إلى 1.5 كيلو واط ساعي كهرباء لكل واحد متر مكعب ماء معالج)، وهذا المجال من الاستهلاك مرتبط بدرجة الإزالة المطلوبة للقساوة.

5. 8. 6 إزالة الكبريتات بترسيبها في صيغة كبريتات الباريوم:

يمكن إزالة شوارد الكبريتات من الماء بسهولة باستعمال محلول كلور الباريوم وباستخدام أحواض ترسيب شائعة في مجال معالجة المياه، ولكن من النادر تطبيقها كمرحلة مستقلة في محطات تصفية مياه الشرب، وتحدث عملية الترسيب وفقا" للمعادلتين الآتيتين:

$$CaSO_4 + BaCl_2 \longrightarrow CaCl_2 + BaSO_4 \downarrow$$

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 \longrightarrow 2NaCl + BaSO_4 \downarrow$$

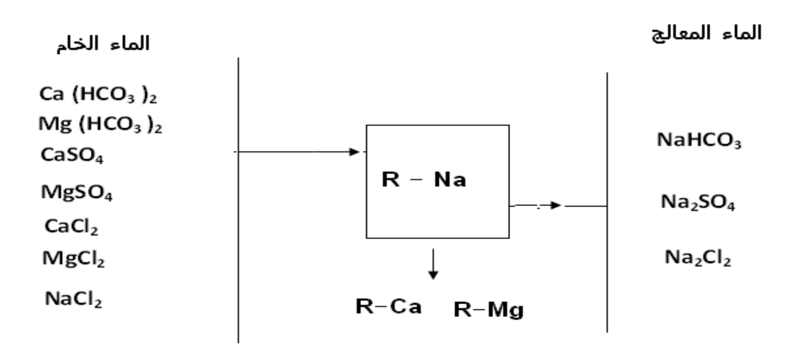
5. 8. 7 استعمالات المبادل الشاردي في معالجة المياه:

تستعمل المبادلات الشاردية على نطاق واسع جدا" في مجال معالجة المياه الصناعية، وكذلك في مياه الشرب في السنوات الأخيرة بعد أن تم تطوير أنواع من اللدائن المقاومة لعمليات الحت والتي لا تعطي مواد ضارة، علما أن هذه التقنية في مياه الشرب كانت ممنوعة قبل عشرين عاما"، وأهم استعمال لها في مجال مياه الشرب هو إزالة القساوة من المياه، وإزالة بعض الشوارد المعدنية الضارة أو السامة، أما في المجال الصناعي فاستعمال تقنية المبادل الشاردي أصبحت واسعة جدا" ابتداء" من إزالة القساوة وإزالة الملوحة، وانتهاء" باستعمالات نوعية في إزالة شوارد معينة.

آ) إزالة قساوة (عسر) المياه:

كانت عملية إزالة قساوة المياه أقدم تطبيق للمبادلات الشاردية، وما زالت حتى الآن تستعمل على نطاق واسع في مختلف الصناعات لتحضير مياه خالية من شوارد الكالسيوم والمغنزيوم، تلك الشوارد المسببة لقساوة الماء.

تعالج المياه بمبادل شاردي موجب وقوي وعلى هيئته الصودية، فتُستبدل شوارد الكالسيوم والمغنزيوم في الماء بشوارد الصوديوم، يمتلك الماء الناتج ملوحة مساوية للماء المعالج، مع التخلص من القساوة، ويعطي الشكل (5 – 41) مخططا" لعملية إزالة قساوة الماء.



الشكل 5 – 41: مخطط إزالة قساوة المياه باستعمال مبادل شاردي حمضي قوي على هيئته الصودية.

تتكون عادة تجهيزات إزالة القساوة بالتبادل الشاردي من عمودين يحتويان المبادل الشاردي، ولوضع أحدهما في حالة تشغيل، يكون الآخر في حالة تجديد، ويتطلب أن تكون المواد الإنشائية المصنع منها أعمدة التبادل قادرة على تحمل ضغوط التشغيل من جهة، وغير قابلة للأكسدة من جهة أخرى. أما بخصوص المبادل الشاردي المستعمل لإزالة قساوة المياه فيمكن استعمال المبادل الشاردي الحمضي الضعيف (COOH -) الذي يجدد بالحمض، ولا يفضل استعمال هذا النوع في مياه الشرب، والمبادل الشاردي الموجب القوي والصودي، الذي يجدد بملح كلور الصوديوم.

إن تصميم مبادل شاردي يحتاج إلى معرفة معاملات أساسية هي:

- قساوة الماء الخام.
- الاستطاعة المفيدة للمبادل الشاردي المستعمل.
- تدفق الماء المعالج وقساوته.

تعطي الشركات المنتجة للمبادلات الشاردية عادة معلومات كاملة عن المبادل الشاردي تتضمن الاستطاعة المفيدة والاستطاعة الكلية وشروط التجديد وغيرها من المعلومات، ونورد في الجدول (5 – 4) مجال الاستطاعات الكلية والمفيدة للمبادلات الشاردية المختلفة.

الجدول 5 – 4 : مجالات الاستطاعات الكلية والمفيدة للمبادلات الشاردية.

نوع المبادل	الاستطاعة الكلية (مكافئ غرامي / لتر مبادل)	الاستطاعةالمفيدة (مكافئ غرامي / لتر مبادل)
موجب ضعيف	4.5 – 3.7	3.5 – 1
موجب قوي	2.2 – 1.7	1.7 – 0.6
سالب ضعيف	1.7 – 1.1	1.3 – 0.8
سالب قوي	1.4 – 0.9	0.9 – 0.4

بعد معرفة الاستطاعة المفيدة للمبادل المستعمل (C) ومعرفة قساوة الماء المراد معالجته (TH) والتدفق المطلوب (Q)، يمكن تحديد حجم المبادل اللازم (Vc) من العلاقة التالية:

$$Vc = Q.\ t.\ TH / C$$

ولهذا يمكن تحديد حجم المبادل الشاردي المستعمل بعد تحديد زمن الدورة الواحدة (t) بحيث يحقق الجانب العملي والجدوى الاقتصادية معا".

ونورد فيما يلي مثالا" على طريقة الحساب:

نفترض أن لدينا ماء قساوته 4.4 ميلي مكافئ غرامي (22 F°)، يراد إزالة قساوته باستعمال مبادل شاردي استطاعته المفيدة تعادل 1.1 مكافئ غرامي للتر من المبادل، وزمن التشغيل بين تجديدين هو 24 ساعة، علما أن التدفق المطلوب هو 10 م^3 / ساعة، فيمكن حساب حجم المبادل الشاردي المطلوب من المعادلة السابقة:

$$Vc = 10 \times 1000 \times 24 \times 4.4 / 1.1 \times 1000 = 960$$

ويعبر عن حجم المبادل باللتر.

بعد تحديد كمية المبادل المستعملة يتم تحديد أبعاد العمود الحاوي على المبادل الشاردي مع التقيد بالقواعد الآتية:

- يجب أن يكون ارتفاع المبادل داخل العمود أكبر من متر.
- يجب أن يعادل ارتفاع الفراغ فوق سطح المبادل حوالي 50% من سمك المبادل.

- يوضع في أسفل العمود طبقة مرشح من الحصى والرمل سمكها لايقل عن 50% من سمك طبقة المبادل.
- يجب أن تكون السرعة السطحية للماء العابر لطبقة المبادل لا تتجاوز 18 م / سا.

ضمن تلك القواعد المذكورة أعلاه يمكن استعمال عمود قطره متر واحد وارتفاعه 2.6 متر، يحتل المبادل الشاردي ارتفاعا" قدره 1.2 متر وطبقة الترشيح 0.7 متر والفراغ المتبقي ارتفاعه 0.7 متر.

أما شروط تجديد المبادل فتحدد كالآتي:

- يكون تركيز المحلول الملحي المستخدم 10%.
- يفضل أن تكون السرعة السطحية للمحلول الملحي بحدود 2.5 م/ ساعة.
- يفضل أن يجري التجديد باتجاه معاكس لاتجاه عبور الماء الخام للعمود.

يجب أيضا" تطبيق شروط الغسيل للمحلول الملحي بعد التجديد بحيث تكون سرعة الغسيل محصورة بين 18 إلى 24 متر / ساعة، باستخدام الماء الخام.

يجهز دائما" عمودان للتبادل متماثلان بالاستطاعة والمواصفات بحيث يجري تجديد أحدهما عند وضع الآخر في حالة التشغيل الاستثماري، ويعطي الشكل (5 – 42) صورة مبسطة لوحدة إزالة قساوة الماء.



الشكل 5 – 42: محطة إزالة القساوة بالمبادل الشاردي.

ب) نزع التمعدن من الماء (إزالة الملوحة) Déminéralisation Totale:

تستخدم هذه التقنية بشكل واسع في المجال الصناعي، ولا تستخدم إطلاقا" في مجال معالجة المياه المخصصة للشرب. وتحدث عملية نزع التمعدن من الماء عبر ثلاث مراحل أساسية هي:

- مرحلة إزالة الشوارد الموجبة باستعمال مبادل شاردي موجب وقوي الحموضة ويجدد باستعمال الحموض المعدنية القوية (حمض كلور الماء، حمض الكبريت). وتوضح المعادلة التالية آلية التبادل:

$$R - H + M^{+} \rightleftarrows R - M + H^{+}$$

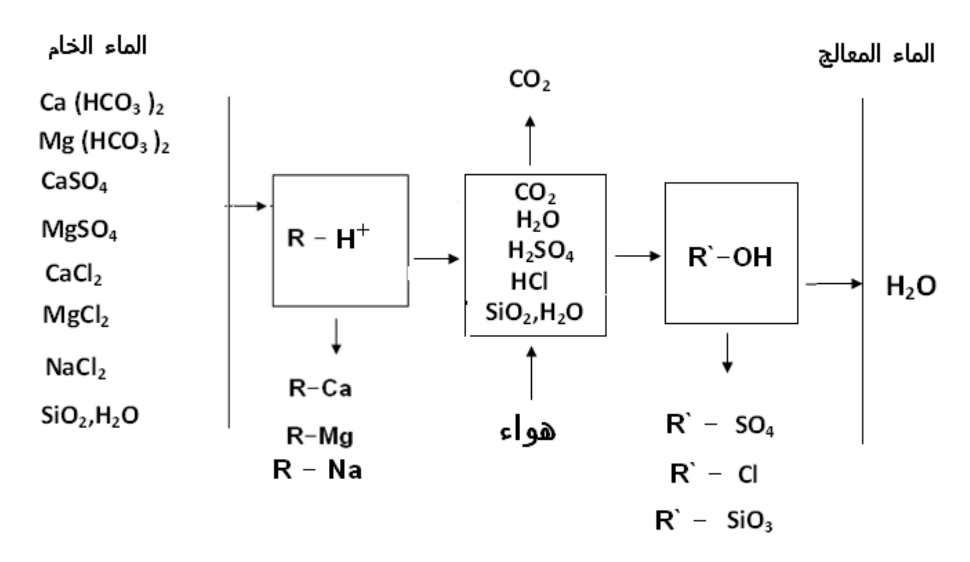
- مرحلة إزالة الكربونات والكربونات الحمضية عن طريق التهوية، وتجري العملية بسقوط الماء الخارج من العمود المبادل الأول (عمود التبادل الموجب) بشكل شلال ضمن عمود التهوية المزود بأسفله بمصدر للهواء ينطلق داخل السائل النازل بحيث يحقق

سطح تلامس مرتفعا"، ويتصاعد الهواء داخل العمود حاملا" معه غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر والناتج عن تفكك الكربونات الحمضية، علما" أن الوسط الحمضي الناتج عن تحرر شوارد الهيدروجين يشكل بيئة جيدة لتفكك الكربونات والكربونات الحمضية إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء. تؤمّن هذه المرحلة التخلص من الكربونات وبالتالي حماية المبادل الشاردي السالب (العمود الثالث) من ترسب الكربونات على المبادل الشاردي.

- المرحلة الثالثة وتتمثل بإزالة الشوارد السالبة باستعمال مبادل شاردي سالب وقوي القاعدية (OH^-) والذي يجدد بهيدروكسيد الصوديوم، وتوضح المعادلة التالية آلية التبادل:

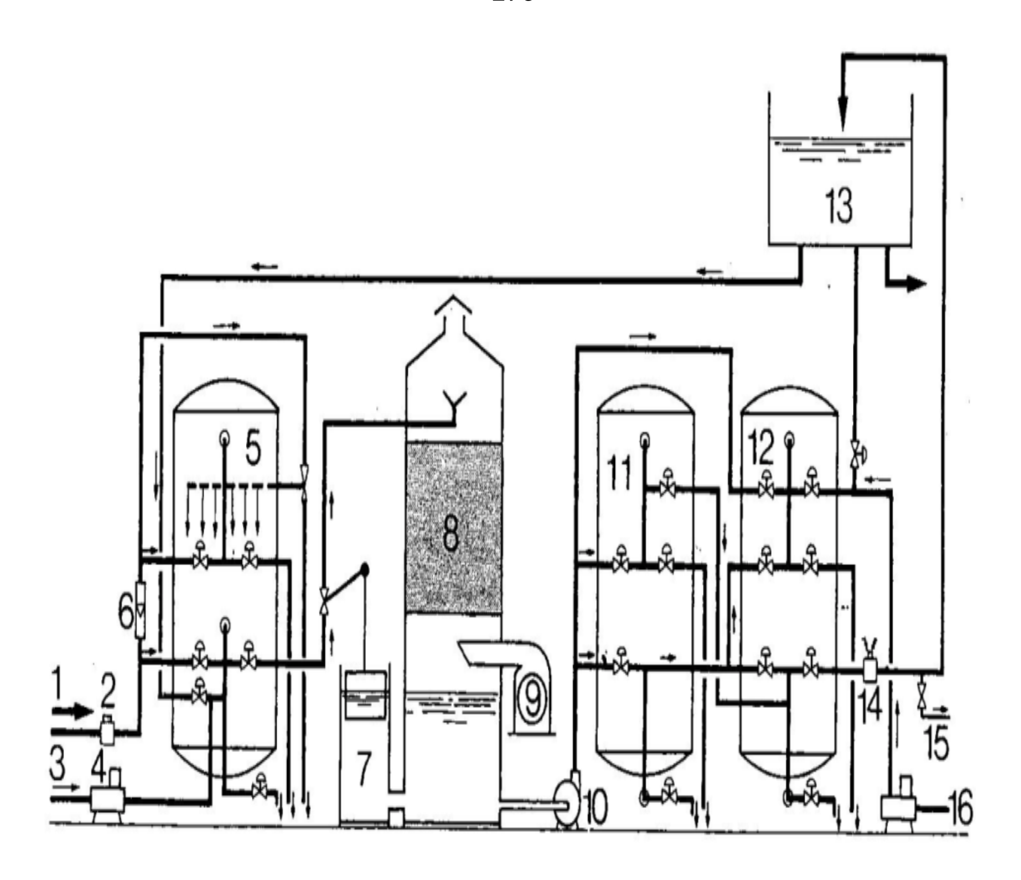
$$R - OH + N^- \rightleftharpoons R - N + OH^-$$

ينتج لدينا في نهاية المرحلة الثالثة ماء نقي جدا" (الشكل 5 – 43) ذو مقاومة نوعية تفوق (0.3 ميغا أوم / سم).



الشكل 5 – 43: مخطط يوضح عملية إزالة التمعدن.

كما ويعطي الشكل(5 – 44) مكونات وتجهيزات وحدة إزالة التمعدن تتضمن عمودا" شارديا" موجبا" وعمود تهوية وعمودين للمبادل الشاردي السالب أحدهما قاعدي ضعيف والآخر قاعدي قوي.



1) دخول الماء الخام، 2) مقياس تدفق، 3) مدخل الحمض، 4) مضخة عيارية، 5) مبادل شاردي موجب يجدد بالتيار المعاكس، 6) مقياس تدفق، 7) وعاء تحديد المستوى، 8) برج إزالة ثنائي أكسيد الكربون،9) مروحة تهوية للبرج ، 10) مضخة، 11) مبادل شاردي سالب ضعيف القاعدية، 12) مبادل شاردي سالب قوي القاعدية، 13) حوض الماء الناتج، 14) مقياس قياس المقاومة الكهربائية، 15) مأخذ العينة، 16) مضخة معيارية لمحلول هيدروكسيد الصوديوم.

الشكل 5 – 44: تجهيزات وأعمدة إزالة التمعدن من الماء بالمبادل الشاردي{33}.

ج) إزالة الكربونات Décarbonatation:

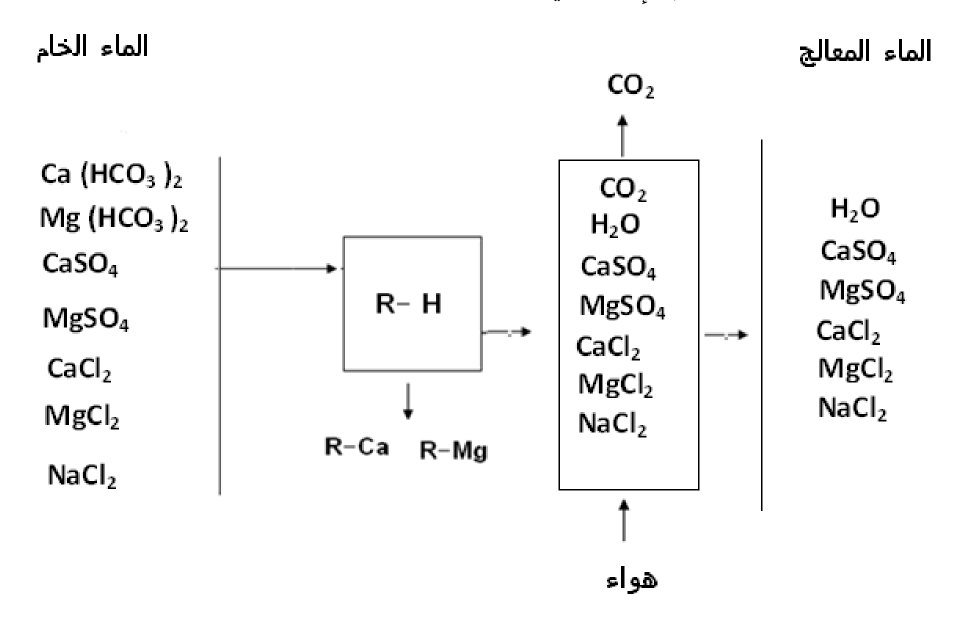
تستعمل المبادلات الشاردية الموجبة والضعيفة الحموضة (COOH -) لإزالة الكربونات المنحلة في الماء عن طريق تبادل الكالسيوم (أو المغنزيوم) المرتبط بالكربونات الحمضية بشاردة الهيدروجين، لتتحول إلى حمض الكربون سهل التفكك إلى ثنائي أكسيد الكربون والماء كما توضح المعادلات التالية:

$$RH_2 + Ca(HCO_3)_2 + H_2O \longrightarrow RCa + H_3O^+ + HCO_3^-$$

$$H_3O^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons H_2CO_3 + H_2O$$

$$H_2CO_3 + H_2O \longrightarrow 2\ H_2O + CO_2$$

ويوضح الشكل (5 – 45) مخطط عملية إزالة الكربونات بالمبادل الشاردي والمكونة من مرحلتين هما المبادل الشاردي وإزالة ثنائي أكسيد الكربون بالهواء.



الشكل 5 – 45: إزالة الكربونات بالمبادل الشاردي.

5. 8. 8 استعمال الفحم المنشط في معالجة المياه:

رغم وجود الكثير من المواد المتمتعة بخاصية الامتزاز(الادمصاص) يظل الفحم المنشط أفضلها من حيث القدرة على الامتزاز ومن حيث الكلفة الاقتصادية، ويتمتع الفحم المنشط بقدرته على امتزاز طيف واسع من الملوثات العضوية والمعدنية في المياه السطحية، وأهم مجالات تطبيقه في محطة مياه الشرب:

- إزالة الكلور الحر المتبقي أو الأوزون المتبقي.
- إزالة المواد العضوية المسؤولة عن الرائحة والطعم.
- إزالة المركبات العضوية السامة التي يمكن أن تكون بتراكيز خفيفة جدا" (المبيدات بأنواعها).
- إزالة المواد المنظفة المنحلة في الماء.
- إزالة العديد من الشوارد المعدنية الثقيلة.
- إزالة عناصر مشعة.

آ) تحضير الفحم المنشط :

ينتج الفحم المنشط من المواد الكربونية المختلفة مثل التراب الأحفوري (Tourbe)، والفحم النفطي والخشب و العظام و الفحم وقشر الجوز وغيرها.

تتم عملية تصنيع الفحم المنشط على مرحلتين:

- المرحلة الأولى تتضمن عملية تفحيم الخشب، أي تحولها إلى فحم بإجراء عملية التفحيم في وسط يحتوي قليلا" من الهواء وفي درجة حرارة بحدود 500 ^{o} م، والمواد الناتجة لا تحتوي أكثر من 15% من المواد الطيارة وبنيتها مسامية ولها سطح نوعي من مرتبة 10 م^{2} / غرام.
- المرحلة الثانية وهي مرحلة تنشيط الفحم التي تجري بطريقة حرارية أو كيميائية وينتج عنها ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء. وتتم الأكسدة الحرارية في الدرجة 1000^{o} م وتدوم فترة زمنية طويلة (10 إلى 40 ساعة)، تسمح عملية الأكسدة بتطوير البنية المسامية للفحم وزيادة السطح الفعال، الذي يصل إلى قيم عالية تفوق 1500 م^{2} للغرام الواحد من الفحم المنشط، أما الطريقة الكيميائية فإنها تعتمد على تفحيم المواد الطيارة المتبقية في الفحم بالتسخين بوجود كلور الزنك أو حمض الفوسفور، ويباع الفحم المنشط في صورة حبيبات أو مسحوق.

ب) استعمالات الفحم المنشط:

تعتمد التقنيات المختلفة لاستعمال الفحم المنشط على كونه بحالة مسحوق أو حالة حُبيبية.

1 – مسحوق الفحم المنشط:

مسحوق الفحم المنشط يظهر على شكل حبيبات دقيقة تتراوح أبعادها بين 10 إلى 50 ميكرومتر. ويمكن تلخيص مواقع استعمال مسحوق الفحم المنشط في محطات معالجة المياه كما يلي:

- تخصيص مرحلة للفحم المنشط ويتطلب ذلك خلاطا" ومرقدا".
- يمكن حقن الفحم المنشط مع المكتل.
- في حالة عدم وجود مرحلة ترقيد في سلسلة المعالجة فإنه يضاف قبل الترشيح على الرمل، ولكن تجمعه على سطح المرشح يؤدي إلى رفع الضغط الخلفي.

يتمتع مسحوق الفحم المنشط بعدد من الإيجابيات أهمها:

- سعره أقل من الحبيبي.
- لا يتطلب استعماله تجهيزات مكلفة.
- حركية الامتزاز سريعة، وسطح التماس المباشر مع السائل أعلى من الحبيبي.
- مسحوق الفحم المنشط يسهل عملية الترقيد بزيادة حجم ووزن الكتل المتكونة.

ولكن يوجد سلبيات لمسحوق الفحم المنشط أهمها أنه لا يمكن تجديده، إضافة إلى أن إزالة الملوثات تماما" تتطلب إضافة كمية كبيرة من مسحوق الفحم المنشط كون التوازن الحاصل من النوع السكوني وليس الحركي.

2 – الفحم المنشط الحبيبي:

يمكن استعمال الفحم المنشط على شكله الحُبيبي في جميع أنواع المرشحات وبالتالي فإنه يؤدي دور المادة المرشحة، إضافة إلى دوره كمادة مازة.

تعبر المياه محملة بالمواد القابلة للامتزاز طبقات الفحم المنشط المتتالية، ويترافق ذلك مع نقصان في تركيز تلك المواد في الوسط السائل، وقد يصل ذلك التركيز إلى العدم، ووجود عمود من الفحم المنشط بارتفاع يتراوح بين 0.8 و 2.1 مترا"، مع سرعة عبور بين 4 إلى 6 م/سا، يؤمّن فعالية جيدة، ويظل زمن التماس المعتمد في العملية مرتبطا" بمواصفات المياه المراد معالجتها.

يمكن وضع الفحم المنشط الحبيبي ضمن المرشح الرملي في المرحلة الأولى من الترشيح. ويمكن أيضا" وضع المرشح بالفحم المنشط كمرحلة ثانية بعد الترشيح الرملي، وهذا يسمح بالحصول على مياه شرب عالية النقاوة.

يتوافر في الأسواق أصناف عديدة من الفحم المنشط الحبيبي، وهي مختلفة من حيث المادة الأساسية المصنع منها، أو من حيث طريقة التصنيع، وبالتالي ينعكس كل ذلك على المواصفات، ونورد في الجدول(5 – 5) بعض الأنواع المستعملة في مجال معالجة المياه.

الجدول 5 – 5: مواصفات بعض أنواع الفحم المنشط المستخدم في معالجة المياه.

النوع	1	2	3	4	5	6
المادة الأولية	تراب أحفوري	تراب أحفوري	فحم	فحم	خشب	فحم نفطي
أبعاد الحبيبات مم	0.95	0.66	0.45	0.6	1.7	0.4
معامل التشابه الحبيبي	1.5	1.4	2.2	1.6	1.4	1.4
الكثافة الظاهرية	0.29	0.42	0.67	0.45	0.69	0.58
السطح النوعي م^2/غ	650 – 750	1100– 1200	800 – 900	1050– 1200	1000– 1100	1000– 1300
الرماد %	4 – 6	5 .5	8	8	12	0.2

يستعمل الفحم المنشط الحُبيبي في معالجة المياه ضمن نظام الترشيح، وبالتالي تستخدم التجهيزات نفسها المستخدمة في الترشيح الرملي. ويقوم الفحم المنشط بعدة أدوار هي:

– يؤدي دور المرشح، وإن كان من الأفضل أن يوضع قبله مرشح رملي لزيادة عمر الدورة التشغيلية من جهة، وللمحافظة على فعله الامتزازي.

– حامل بكتري: إن سطح الفحم المنشط يقدم شروطا" ممتازة لنمو المستعمرات البكترية نتيجة وجود الأخاديد ضمن بنيته، وهذه الظاهرة يمكن أن تزيد فعالية المعالجة، غير أنها تكوّن بؤرة شديدة الخطورة إذا لم يتم التحكم بها جيدا"، ويتمثل مصدر الخطورة بزيادة ظاهرة التخمر اللاهوائي المولد للروائح الكريهة، أو التصاق جسيمات الطبقة المرشحة.

– امتزاز: يجب أن يبقى هذا الدور الأساسي في استعمال الفحم المنشط في عملية الترشيح، علما أن طيف امتزاز الفحم المنشط واسع جدا".

– فعل وسيطي: يمكن لسطح الفحم الماز للمركبات العضوية أو المعدنية أن يؤدي دور الوسيط ولاسيما بتفاعلات الأكسدة بالأكسجين المنحل في الماء، علما" أن سرعة تفاعل الأكسدة قد تكون مهملة بغياب حالة الامتزاز في العديد من التفاعلات التي تحدث على سطح الفحم المنشط.

هناك آليتان لاستعمال الفحم المنشط من الجانب التقني، حيث تتمثل الآلية الأولى باستعماله كطبقة مرشحة ثابته، أما الآلية الثانية فهي استعماله على شكل معلق ضمن السائل الداخل من أسفل عمود الترشيح الذي يتمتع بسرعة تبقي جسيمات الفحم معلقة.

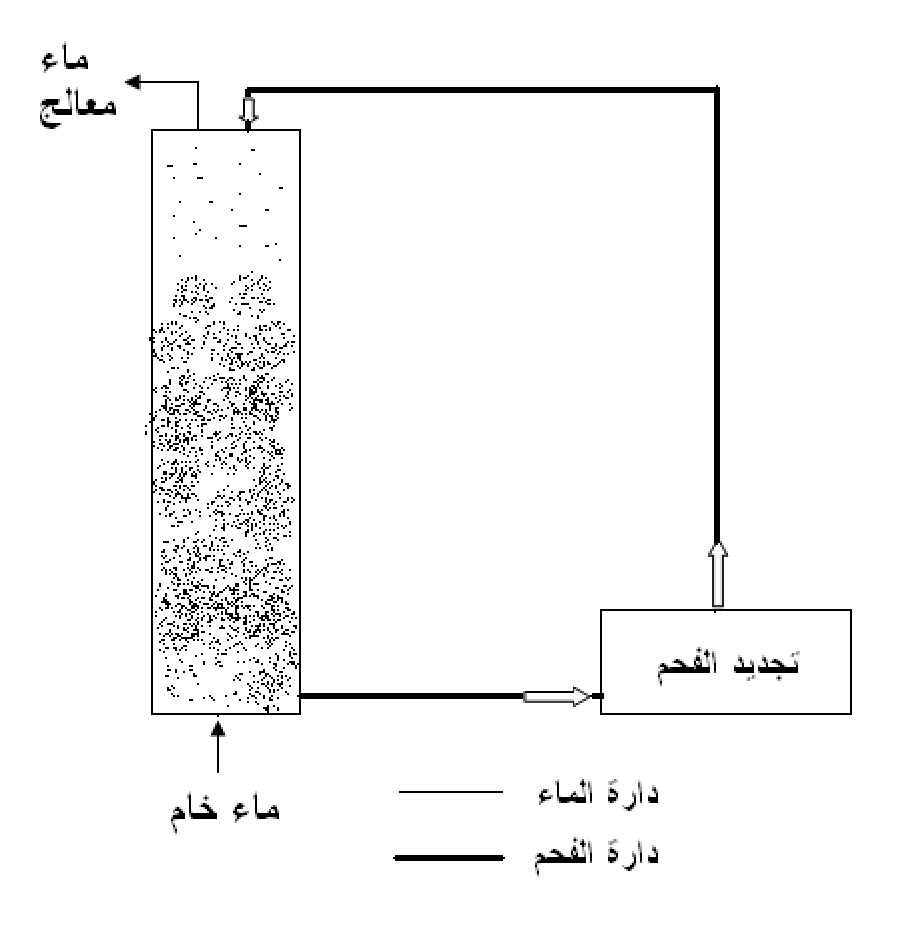
- الطبقة الثابتة:

تنطبق على هذه الحالة قواعد الترشيح الرملي، ويستخدم عادة أكثر من عمود ترشيح لتأمين تدفق مستمر. حيث يكون عمود في حالة تجديد والأعمدة الأخرى في حالة استثمار. وعند وجود ثلاثة أعمدة أو أكثر، يُراعى أن يجري تجديد العمود الأول من حيث دخول الماء الخام وأن يوضع العمود المجدد دوما في آخر السلسلة، ويحقق اتباع هذه القاعدة الآتي:

- تجديد الفحم المنشط الأكثر إشباعا" بالملوثات.
- وجود الفحم المنشط المجدد على تماس مع الماء الأقل تركيزا بالملوثات، وبالتالي يشكل صمام أمان لإزالة التلوث .

- الطبقة المتحركة (معلق ضمن الماء):

يوضع الفحم المنشط ضمن عمود الترشيح ويدخل الماء المراد معالجته من أسفل العمود بحيث يسمح ضغط الماء الداخل برفع الفحم المنشط وجعله معلقا ضمن السائل على أن تنحصر حركة الفحم المنشط ضمن الجزء السفلي من عمود الترشيح بحيث لا تتجاوز 70% من ارتفاع العمود، لذلك يجب أن يؤخذ في الحسبان عند تصميم عمود الترشيح كمية الفحم المستعملة وتدفق الماء وارتفاع العمود لتحقيق تلك القاعدة، أما عملية التجديد فيمكن أن تجري دون إيقاف العمل، بحيث يؤخذ جزء من الفحم المنشط باستمرار من أسفل العمود ويحول إلى وحدة التجديد ثم يعاد إلى عمود الترشيح من الأعلى، وبذلك نضمن أخذ الجزء الأكثر إشباعا" من الفحم المنشط لكونه يقع في منطقة التلامس المباشرة مع الماء الخام الداخل، إضافة إلى أن كثافة الفحم المنشط المشبع بالجسيمات الممتزة تصبح أعلى وبالتالي يكون وجوده في المنطقة السفلى من عمود الترشيح، ويوضح الشكل (5– 46) مخططا لوحدة ترشيح بالفحم المنشط المعلق بالسائل.



الشكل 5 – 46: مخطط نظام ترشيح بالفحم المنشط الحبيبي المعلق.

ج) تجديد الفحم المنشط:

نظرا للسعر المرتفع للفحم المنشط، فإن عملية التجديد تكون ضرورية من الناحية الاقتصادية. وتستخدم ثلاث طرائق لتجديد الفحم المنشط المستعمل بمعالجة المياه هي:

1 – التجديد بالبخار: تطبق هذه الطريقة في حالة كون المواد الممتزة على الفحم المنشط طيارة، وهذه الطريقة تحقق عموما"عملية تفكيك المواد الملتصقة على سطح حُبيبات الفحم، وكذلك تعقم الفحم المنشط.

2 – التجديد الحراري: يجرى بعملية تفكيك حراري وحرق للمواد العضوية الممتزة على سطح الفحم المنشط، يسخن الفحم المنشط للدرجة 800^{o} م تقريبا" تحت ضغط متحكم فيه، بحيث لا يحدث احتراق للكربون، وهذه الطريقة الأكثر استخداما"، ولكن لها جوانب سلبية هي:

- مكلفة اقتصاديا"، لأنها تتطلب تجهيزات مختلفة (فرنا"، تحكما" بالضغط، أجهزة إزالة الرطوبة،...،... .).

- فقدان نحو 7% إلى 10% في كل عملية تجديد.

3 – التجديد الكيميائي: تتم العملية باستعمال محل عضوي لاستخلاص المركبات العضوية الممتزة على الفحم المنشط، ويمكن إعادة استعمال المحل بتقطيره والتخلص من المواد العضوية.

4 – التجديد الحيوي: تجري عملية التجديد الحيوي بوضع الفحم المشبع بالملوثات العضوية في بيئة تسمح بزيادة فعل البكتريا الممتزة في تفكيك المواد العضوية الممتزة أيضا" على السطح الفعال. وهذه الطريقة قليلة الاستعمال.

5. 8. 9 إزالة النترات من المياه:

هناك ثلاث طرائق أساسية للتخلص من النترات في مياه الشرب هي:

- طريقة استعمال المبادل الشاردي النوعي ذي الألفة العالية للنترات.
- الطريقة الحيوية
- طريقة الترشيح على مرشحات دقيقة جدا" (Nanofiltration)

آ) استعمال المبادل الشاردي للتخلص من شوارد النترات:

يستعمل المبادل الشاردي لمعالجة المياه في حالات خاصة، ويتطور هذا الاستعمال مع تطور تصنيع اللدائن العضوية من جهة وازدياد الحاجة إلى إزالة النترات والملوثات المعدنية من المياه، فعلى سبيل المثال لا الحصر نذكر بما حدث في الثمانينيات من القرن الماضي عندما لوحظ ارتفاع النترات في المياه السطحية (الأنهار، البحيرات، الآبار) المغذية لمحطات إنتاج مياه الشرب، وخاصة في الدول الأوربية، ونظرا" لأن الطرائق المعتمدة في تلك المحطات لا تخفض نسبة النترات في المياه المعالجة، انصبت الأبحاث العلمية على إيجاد الحل المناسب، وكانت تقنية المبادل الشاردي أحد الحلول المطروحة، ولكن تلك التقنية لم يكن مسموحا" استعمالها في خط إنتاج مياه الشرب في تلك الفترة نظرا لتحريرها جسيمات عضوية ملوثة، ولكونها تزيل شوارد سالبة أخرى يستحسن بقاؤها في مياه الشرب، ونتيجة الأبحاث العلمية واستثمارها في مجال الصناعة، فقد تم تصنيع لدائن خاصة تتمتع بألفة عالية لشوارد النترات من جهة ولا تعطي مركبات عضوية ضارة من جهة أخرى، علما أن وجود تراكيز عالية من الشوارد السالبة الأخرى (الكبريتات، الكلوريد،....،.... .) يؤثر على فعاليتها التبادلية مع النترات.
تعدَ هذه الطريقة أكثر انتشارا" وأقل كلفة للتخلص من شوارد النترات، وترتبط الاستطاعة التبادلية والمدة الزمنية الفاصلة بين تجديدين متتاليين، بمواصفات الماء المعالج وخاصة تركيز النترات المراد التخلص منها، وتركيز الكلوريد والكبريتات في الماء الخام.

شروط عامة لاستعمال هذه التقنية:

- استعمال المبادل الشاردي النوعي للنترات.
- سرعة الماء المعالج محصورة بين 5 و 40 مترا" مكعبا" بالساعة لكل متر مكعب من المبادل.
- سماكة طبقة التبادل تتراوح بين 70 و 180 سم.
- يجب إجراء عملية غسيل بعد التجديد بكمية ماء تعادل 10 إلى 15 مرة من حجم المبادل.
- يجدد المبادل بمحلول كلور الصوديوم تركيزه (5 – 10%).

وتستعمل التجهيزات والتقنيات الواردة في فقرة المبادلات الشاردية أعلاه.

ب)التخلص من النترات بالمعالجة الحيوية:

تتطلب معالجة النترات بالطريقة الحيوية وجود بكتريا خاصة من عائلة (*Pseudomonas*) تفكك النترات وتنتج الآزوت الغازي، ويمكن تبسيط سلسلة التحولات على الشكل التالي:

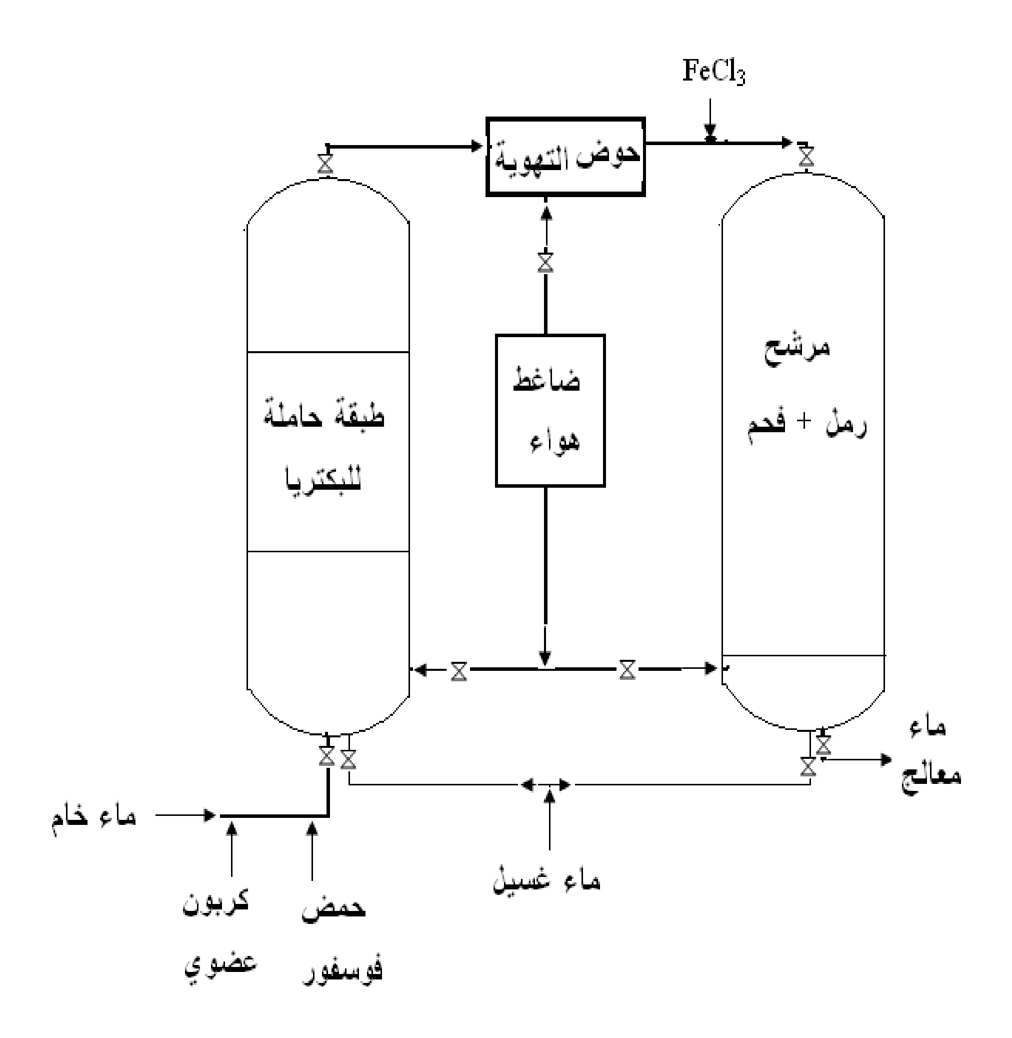
$$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \nearrow$$

وبما أن تلك البكتريا تحتاج إلى طاقة حيوية فيمكن أن تحصل عليها من تحويل الكربون العضوي، أما في حالة عدم وجود ملوثات عضوية في الوسط، يضاف الإيتانول أو الميتانول أو حمض الخل إلى الوسط المائي المراد معالجته، ويضاف قليل من أملاح الفوسفات.

تستعمل عادة طريقة الطبقة الثابتة في مفاعلات إزالة النترات حيويا" بوجود مواد حُبيبية حاملة للبكتريا، وهذا النظام فعال جدا" ولكنه صعب الاستثمار، بسبب ضرورة ضبط شروط النمو، إضافة إلى ذلك فإن عوامل عديدة تؤثر على التفاعل الحيوي، نذكر منها:

- درجة الحرارة: يؤدي ارتفاع درجة الحرارة عموما"إلى زيادة سرعة التفاعل.
- تحريكا" حيويا": يجب أن يكون فعالا" جدا" بحيث يسمح بحالة تماس دائمة بين البكتريا والنترات والكربون العضوي.
- عمر الحمأة: المردود أعلى عند استعمال حمأة جديدة.

ويوضح الشكل (5 – 47) مخطط وتجهيزات الطريقة الحيوية لإزالة النترات.



الشكل 5 – 47: إزالة النترات بالطريقة الحيوية.

إن تطبيق إزالة النترات بالطريقة الحيوية شائع عادة لمياه الصرف، ولكن استعمالها في معالجة مياه الشرب تطور نتيجة الحاجة بعد ارتفاع نسبة النترات في الأحواض الجوفية المغذية للمدن، غير أن تطبيق تلك الطريقة على خط معالجة مياه الشرب يتطلب إضافة مراحل خاصة بها مثل التهوية لطرد غاز الآزوت وإضافة المواد العضوية، وتتطلب الطريقة إضافة مرحلة ترشيح على الفحم المنشط بعدها للتخلص من الملوثات العضوية التي تنتج في أثناء عملية إزالة النترات حيويا".

ج) التخلص من النترات بطريقة الترشيح الدقيق جدا" (Nanofiltration):

تعدّ هذه الطريقة مقبولة اقتصاديا" وتزيل نحو 45% من النترات، بشرط أن تجرى معالجة العكارة تماما" قبل عملية الترشيح، علما" أن هذه الطريقة تزيل أيضا" الكبريتات والمبيدات الحشرية وغيرها.

5. 8. 10 إزالة الحديد والمنغنيز المنحل:

عندما يحتوي الماء أملاح الحديدي المنحلة، فمن النادر أن لا يكون متزامنا" مع أملاح المنغنيز، والعكس صحيح. هاتان الشاردتان منحلتان في المياه السطحية ورواسبهما تعطي اللون للماء، ويتراوح اللون بين الأصفر الفاتح والأسود، واللون الأخير يدل على المنغنيز.

إن وجود الحديد والمنغنيز مع مياه الشرب ضمن الخزانات أو أنابيب شبكة التوزيع يؤدي إلى تكاثر الأحياء الدقيقة في حالة كون الماء لم يعالج جيدا"، وينتج عن ذلك ظهور الروائح ووجود طعم غير مستساغ إضافة إلى زيادة درجة التعكر نتيجة وجود معلقات من رواسب الحديد والمنغنيز.

كما أن إزالة الحديد والمنغنيز ضرورية في حالة استعمال التبادل الشاردي في المعالجة، ويجب أن تكون مرحلة الإزالة قبل المبادل الشاردي، لتلافي ترسب الحديد والمنغنيز على المبادل الشاردي وتسميمه. من أجل تلك الأسباب المختلفة يجب إزالة الحديد والمنغنيز المنحل في الماء المراد معالجته.

هناك عدد من الطرائق للتخلص من الحديد والمنغنيز سنستعرض أهمها:

الطريقة الأولى: تعتمد على تهوية أو أكسدة يليها عملية ترسيب ثم ترشيح، ويمكن إضافة الكلور أو الأوزون أو برمنغنات البوتاسيوم لزيادة فعالية الأكسدة. وتستعمل عادة هذه الطريقة عندما يكون تركيز الحديد والمنغنيز مرتفعا" في المياه المراد معالجتها (عدد من الميليغرامات في اللتر) وتتوضع عادة ضمن المراحل الأولى من المعالجة، وفي حالات عديدة يضاف الكلور بعد التهوية مباشرة لاستكمال عملية الأكسدة، وإذا كانت قيمة (pH) منخفضة يضاف الكلس الحي لزيادة سرعة الأكسدة، أما إذا كان تركيز الحديد والمنغنيز في الماء الخام أقل من واحد مليغرام في اللتر، فيستعمل عندئذ نظام الأكسدة بالبرمنغنات أو الأوزون أو الكلور النشيط، تليها عملية ترشيح.

إن استعمال المؤكسدات القوية يتوافق مع حالة احتواء الماء على تراكيز عالية من المنغنيز الذي تكون إزالته أصعب من إزالة الحديد، والطريقة الأكثر استعمالا" لإزالة المنغنيز في حالة تكوينه معقدات مع مركبات عضوية، هي الأكسدة بثنائي أكسيد الكلور مرفقا" بحقن الماء بنسبة خفيفة

من البرمنغنات، والذي يؤدي دور الوسيط بوساطة أكسيد المنغنيز (MnO_2)، وفي هذه الحالة تحقن البرمنغنات قبل ثنائي أكسيد الكلور بتركيز منخفض (0.5 إلى 1 جزء من مليون) وتصحيح قيمة (pH) الوسط إلى القيمة المحصورة بين 7.5 و 8 باستعمال الكلس الحي. أما كمية ثنائي أكسيد الكلور المضافة، فإنها متعلقة بكمية المنغنيز في الوسط، حيث تستمر الإضافة حتى الاختفاء الكامل للمنغنيز.

أما عملية التهوية فتجري بتطبيق تقنية نفث الماء في الهواء أو حقن الماء بالهواء:

- **نفث الماء في الهواء:**

يعتمد هذا النظام على إحداث حركة سطحية للماء، ولذلك فإن توزيع الماء بشكل جيد يتطلب زيادة سطح التماس بين الماء والهواء ويسمح ذلك بالتبادل بين الطورين السائل والغازي، ومن الطرائق المستعملة في توزيع الماء في الهواء طريقة شلالات الماء وطريقة الصفائح المتتالية أو عبور برج يتعاكس فيه الهواء مع الماء، وطريقة قذف الماء ضمن الهواء (نافورة). ويعطي الجدول(5 – 6) مواصفات أساسية لكل طريقة.

الجدول 5 – 6: مواصفات طرائق التهوية بنفث الماء في الهواء.

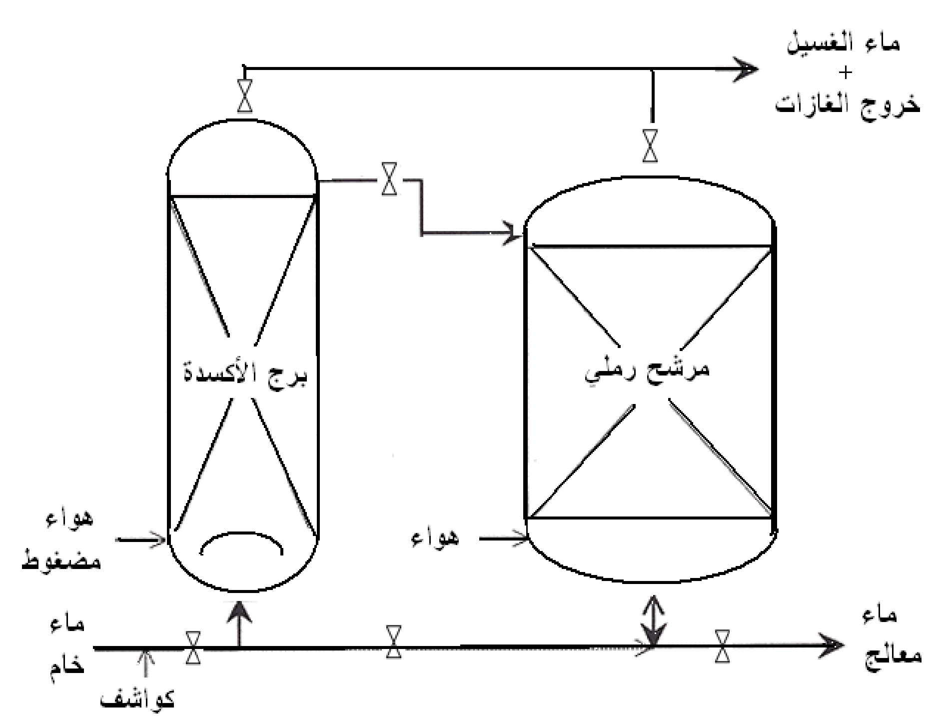
اسم الطريقة	وصف الطريقة	شروط عمل الطريقة
الشلالات	إحداث اضطراب جيد للوسط المائي بسقوطه على مراحل عديدة	ارتفاع الدرجة الواحدة 30 إلى 80 سم سرعة التيار المائي25 م/سا على الأقل
الصفائح	عبور الماء على سلسلة من السطوح (الصواني) المثقبة	سقوط الماء على الصينية العلوية عدد الصواني: 3 إلى 5 البعد بين صينيتين: 15 سم على الأقل التدفق السطحي: 12 $م^3$ /$م^2$ /سا أبعاد الثقوب 1.2 إلى 5 سم المسافة بين الثقوب 7.5 سم
برج التماس	عبور الماء عبر برج يقذف من أسفله تيار هوائي يلامس السطح السائل باتجاه معاكس	سرعة الماء: 10 إلى 50 $م^3$/$م^2$/سا سرعة الهواء 1500 إلى 2000 $م^3$ /$م^2$/سا ارتفاع البرج:1.5 إلى 3 متر
النافورة	قذف الماء بالضغط الذاتي أو بضغط الهواء ليعطي حالة ترذيذية	هذه بحسب التصميم

- حقن الهواء داخل السائل:

يعتمد هذا النظام على حقن الهواء داخل الكتلة السائلة، وإن زيادة سطح التماس بين الطورين الغازي والسائل يزيد عملية التبادل بين الطورين، يمكن رذ الهواء داخل حوض السائل، أو حقن الهواء تحت الضغط ضمن أنابيب الماء.

ويعطي الشكل (5 – 48) مخططا" لعملية إزالة الحديد والمنغنيز الأكثر شيوعا" والمكونة من المراحل الآتية:

- حقن كواشف كيميائية.
- برج أكسدة بالهواء تحت الضغط .
- مرشح رملي.



الشكل 5 – 48: مخطط الطريقة الفيزيائية الكيميائية للتخلص من الحديد والمنغنيز.

تطبق هذه الطريقة على المياه الخام الخالية من الملوثات العضوية والتي تتمتع مواصفاتها بالحدود الواردة في الجدول (5 – 7).

لجدول 5 – 7: شروط تطبيق الطريقة الفيزيائية الكيميائية لإزالة الحديد والمنغنيز.

العنصر	الحد الأقصى المقبول (مغ / لتر)	الصفة	الحد الأقصى المقبول
الحديد الكلي	10	قابلية الأكسدة	5 (مغ / لتر)
منغنيز	0.05	كبريت الهيدروجين	صفر
سيليس	20	pH	أقل من 7.3
كلور حر	0.3	عكارة	NTU 1.5
أمونيا	0.05	اللون	15 مغ/لتر Pt-Co
فوسفات (فسفور)	0.87		

<u>الطريقة الثانية:</u> استعمال المبادل الشاردي القادرعلى إزالة الحديد والمنغنيز بحالته الثنائية التكافؤ، ولكن لاتطبق هذه الطريقة إلا في المحطات الصغيرة ومن أجل تراكيز أقل من 0.5 مغ / لتر، بينما في المحطات الكبيرة المستعملة للمبادل الشاردي ضمن مراحلها ينصح بإزالة الحديد والمنغنيز بالتهوية قبل مرور الماء المعالج على المبادل الشاردي.

<u>الطريقة الثالثة</u>: تعتمد هذه الطريقة على إبقاء المنغنيز والحديد في حالة معلقة باستعمال عوامل مبعثرة، أو تجنب العمليات التي ترسب المعادن، وتستعمل هذه الطريقة عندما لا تتضمن سلسلة المعالجة مرحلة الترشيح، وعندما يكون تركيز الحديد والمنغنيز أقل من (1 مغ / لتر)، وتستخدم مواد البولي فوسفات لتحقيق حالة استقرار وتعويم للحديد والمنغنيز.

<u>الطريقة الرابعة</u>: الترشيح على الرمل الأخضر وهذه بيئة مصنعة تسمح بالامتزاز والترشيح الفيزيائي للحديد والمنغنيز وأيضا" الأكسدة الوسيطية للمنغنيز وفقا" للطريقة التي يتم اختيارها، ويتكون الرمل الأخضر (Glauconite) من عناصر معدنية ويغطى صناعيا" بطبقة من أكسيد المنغنيز (MnO_2)، وإن هذه البنية تسمح أيضا" بأداء دور الوسيط في عملية الأكسدة، حيث تحدث عملية امتزاز شوارد المنغنيز والحديد على سطح الوسيط وحدوث الأكسدة الوسيطية.

طرائق تجديد المرشح الأخضر:

- التجديد الدوري بالبرمنغنات ($KMnO_4$): عندما تصل سرعة الامتزاز إلى حدها الأدنى، يوقف المرشح عن العمل وتحدث عملية تجديد بمحلول من برمنغنات البوتاسيوم.

- تجديد مستمر بمحلول البرمنغنات: هذه الطريقة تؤمّن أكسدة كاملة للمنغنيز والحديد بمحلول برمنغنات البوتاسيوم، في هذه الشروط يكون الرمل الأخضر مرشحا" فقط، يمكن استعمال عوامل مؤكسدة إضافية مع البرمنغنات مثل الكلور أو الأكسجين، ولكن عندما يرتفع الضغط الخلفي يجب إجراء عملية غسيل بالماء للمرشح.

- الأكسدة الوسيطية: تعتمد هذه الطريقة على استثمار الرمل الأخضر كوسيط، ويجب حقن الكلور في المرحلة الأولى لتأمين تركيز كلور نشيط في الماء المرشح أعلى من (0.5 مغ / لتر)، يسمح بأكسدة المنغنيز، عند ارتفاع الضغط الخلفي يجب إجراء عملية الغسيل للمرشح.

نورد في الجدول (5 – 8) شروط عمل المرشح بالرمل الأخضر.

الجدول 5 – 8: شروط عمل المرشح بالرمل الأخضر.

المعامل	التجديد الدوري	التجديد المستمر	الأكسدة الوسيطية
تدفق أعظمي ممكن (م / سا)	15	10	20
نسبة تعويم المرشح أثناء التجديد	%40	%40	%40
حدود تطبيق الطريقة	منغنيز فقط أو قليل من الحديد.	حديد أقل من 10 مغ / لتر منغنيز أقل من 5 مغ/ لتر كبريت الهيدروجين أقل من 2 مغ / لتر	منغنيز فقط أو قليل من الحديد.
نوع المرشح والعمق الأصغري	رمل أخضر فقط سماكة: 60–90سم أبعاد الحبيبات: 0.3 إلى 0.35 مم	أنتراسيت: 40 – 90 سم وأبعاد الحبيبات 0.6 إلى 0.8 مم رمل أخضر: 40 – 60 سم وأبعاد الحبيبات 0.3 إلى 0.35 مم	

- **الطريقة الخامسة (المعالجة الحيوية):** لما كان الحديد والمنغنيز ضمن شروط مناسبة لعمل البكتريا الواسعة الانتشار في الأحواض المائية فإنه يؤدي إلى تكاثر بكتريا الحديد والمنغنيز التي تتميز بدور الوسيط في تفاعل هذين المعدنين.

إن بكتريا الحديد والمنغنيز تتصف بدور الوسيط بإنتاجها لإنزيم نوعي لتفاعلات الأكسدة الناشرة للحرارة التي تؤمّن الطاقة اللازمة لاستمرار الفعل البكتري:

$$2FeO + 1/2\ O_2 + 3\ H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 1057\ joules$$

$$2MnO + O_2 + 2\ H_2O \longrightarrow 2MnO(OH)_2 + 167\ joules$$

إن أكسدة الحديد بالطريقة الحيوية أسهل بكثير من أكسدة المنغنيز، بسبب تحرير تفاعل الحديد لطاقة تعادل ستة أضعاف الطاقة المحررة بتفاعل أكسدة المنغنيز.

أما آلية التفاعل فيفترض أن تحدث عبر امتصاص الحديد أو المنغنيز على السطح الخارجي لخلايا البكتريا، تليها عملية أكسدة بكترية للشوارد الممتصة، وإن عملية التخلص من الحديد في محطة معالجة مياه الشرب تجري باستعمال المرشح، حيث تتميز طبقة المرشح بدور حامل البكتريا، وعلى سبيل المثال فإن إزالة الحديد حيويا بين مرحلتي غسيل للمرشح تظهر أن الحديد المزال بهذه الطريقة يعادل خمسة أضعاف الحديد المزال بطريقة التهوية، أما الفعل الحيوي مع المنغنيز فإنه أبطأ بكثير مما هو عليه مع الحديد.

5. 8. 11 التخلص من الفلور:

يعتمد معظم تقنيات التخلص من الفلور ضمن سلسلة معالجة مياه الشرب على الترسيب أو الامتزاز، علما" أن تلك العملية غير مجدية اقتصاديا" في حالة وجود نسبة عالية من الفلور، لذلك يفضل استبدال مصدر المياه، أو تمديده بمصدر مياه آخر خال من الفلور.

- **طريقة الترسيب:** ترسب شاردة الفلور بوساطة شاردة الكالسيوم (الكلس الحي أو كلور الكالسيوم) طبقا للمعادلة الآتية:

$$2F^- + Ca^{++} \longrightarrow CaF_2$$

ويستخدم حوض ترسيب مشابه لحوض الترسيب في جهاز إزالة الكربونات ولكن زمن الترسيب في حالة فلوريد الكالسيوم أطول من زمن ترسيب الكربونات. علما أن انحلالية فلوريد الكالسيوم متعلقة بقيمة (pH) الوسط والملوحة الكلية أيضا".

تعدّ أملاح الألمنيوم فعالة في ترسيب الفلور، إن حلمهة كبريتات الألمنيوم تعطي هيدروكسيد الألمنيوم الذي يشكل حالة غروية تثبت عليها شوارد الفلور وتفصل عن الماء بالترشيح أو بالترقيد والترسيب.

- **طريقةالامتزاز:** هي الطريقة الأكثر فعالية التي تجري باستعمال الألومين المنشط أو مواد مازة مصنعة من العظام أو من المواد النفطية، أو الخشبية.
- **فوسفات الكالسيوم:** تستعمل فوسفات الكالسيوم للتخلص من الفلور، حيث ترتبط شوارد الكالسيوم بها وترسبها.

- **الأغشية الدقيقة جدا"**: يمكن إزالة الفلور في المياه الحاوية على شوارد الكالسيوم بالأغشية الدقيقة جدا"، حيث يكون الفلور على شكل فلور الكالسيوم (CaF_2) يزال بالترشيح.

5. 8. 12 التخلص من الزرنيخ:

- **طريقة الأكسدة:**

يتحول الزرنيخ الثلاثي التكافؤ بالأكسدة إلى الزرنيخ الخماسي التكافؤ الأقل ذوبانا" بالماء وبالتالي يفصل بالترسيب. ويمكن استعمال مؤكسدات مختلفة للتخلص من الزرنيخ ولكل منها إيجابياته وسلبياته. فاستعمال الماء الأكسجيني يتطلب كمية كبيرة جدا" لعملية الأكسدة، أما برمنغنات البوتاسيوم فإنها مؤكسد جيد في هذه الحالة، ويمكن استعمال الكلور (Cl_2).

- **طريقة الترسيب :**

يمكن استعمال الكلس الحي في عملية ترسيب الزرنيخ الخماسي (As^{+5}) بوجود الكالسيوم أو المغنزيوم في الماء حيث يترسب مع كربونات الكالسيوم أو المغنزيوم في وسط قلوي ($pH = 10.5$). تتطلب هذه الطريقة مستوى تقنيا" جيدا"، علما" أن هذه التقنية غير مجدية في حالة الملوحة المنخفضة جدا" والتركيز المنخفض للكالسيوم. يعدَ هذا الخيار مناسبا عندما تتضمن سلسلة المعالجة مرحلة إزالة القساوة بالكلس الحي.

الطريقة الترسيبية الأخرى المستخدمة هي استعمال أملاح الحديد أو الألمنيوم الثلاثية التكافؤ، حيث يتفاعل الزرنيخ الثلاثي مع شوارد الحديد الثلاثية معطيا زرنيخات الحديد التي ترسب مع هيدروكسيد الحديد. ويرسب في هذه الطريقة الزرنيخ الخماسي بشكل فعال، لذلك يجب إجراء مرحلة أكسدة للزرنيخ الثلاثي قبل ترسيبه. ويمكن الحصول على أفضل النتائج في الوسط الحمضي ($pH < 7.5$). تعطي أملاح الحديد نتائج أفضل من أملاح الألمنيوم حيث أن نسبة الإزالة مع أملاح الحديد تصل إلى 98% بينما هي من مرتبة 85% مع أملاح الألمنيوم. علما" أن الأملاح المستعملة هي كلوريد أو كبريتات الحديد أو كلوريد الألمنيوم (PAC). تتطلب هذه الطريقة مستوى تقنيا" لا بأس به إضافة إلى مشكلة معالجة الطمي المتشكل. ويعطي الجدول (5 – 9) مجال تراكيز الأملاح المستعملة وتركيز الزرنيخ في الماء المعالج.

الجدول 5 – 9: التراكيز اللازمة إما من كلوريد الحديد أو كلوريد الألمنيوم للتخلص من الزرنيخ.

تركيز الزرنيخ في الماء الخام (ميكروغرام / لتر)	14.3	
تركيز شوارد الحديد اللازمة (مليغرام / لتر)	1	2
تركيز (PAC) اللازمة (مليغرام / لتر)	15	25
تركيز الزرنيخ في الماء المعالج (ميكروغرام / لتر)	6	أقل من 4

يمكن استعمال أي من الملحين، أو مزيج منهما، وفي حالة وجود تركيز مرتفع من الزرنيخ (50 – 100 ميكروغرام / لتر) فإن الماء يجب أكسدته بثاني أكسيد الكلور (ClO_2) ثم معالجته بكلوريد الحديد (10 – 15 غ / م3)، ومن ثم إزالة الطمي الناتج بوساطة مرشح رملي. أما تركيز الزرنيخ ضمن تلك الشروط في المياه المعالجة فإنه يتراوح بين 2 إلى 4 ميكروغرام / لتر.

- **طريقة الامتزاز النوعي:**

يمكن إجراء عملية امتزاز على مواد مازة مختلفة (الفخار المنشط، أكاسيد المعادن، هيدروكسيد الحديد، أو هيدروكسيد الألمنيوم، مادة عضوية مازة مثل السليلوز). يعطي الجدول (5 – 10) أهم الطرائق المستخدمة في إزالة الزرنيخ.

الجدول 5 – 10: طرائق إزالة الزرنيخ.

طريقة المعالجة	شروط المعالجة	الفعالية
الألومين المنشط (Al_2O_3)	مرحلة أكسدة أولية قبل الامتزاز	إزالة الزرنيخ الخماسي فقط .
هيدروكسيد الحديد الحبيبي (GHF)	pH = 8 تستخدم مع التجديد أو دونه علما أن التجديد يتم بالماء وبحدود مرة كل 15 يوما"	إزالة الزرنيخ الثلاثي والخماسي درجة امتزاز عالية نسبة المادة المازة إلى الماء المعالج 1 / 100000 حجما تستخدم في سلسلة مياه الشرب
أكسيد المنغنيز (MnO_2)	pH < 8 يستعمل الأكسيد الحبيبي أو الرمل المغطى بأكسيد المنغنيز	يزيل الزرنيخ الخماسي والثلاثي هناك أكسدة وفعل امتزاز في وقت واحد
أكسيد الحديد (Fe_2O_3)	حُبيبات أكسيد الحديد أو أكسيد الحديد المرسب على حامل رملي أو عضوي	يزيل 50 – 60 % من الزرنيخ
فخار معالج	pH < 7 يعالج الفخار بالحديد أو بالتيتان أوبالألمنيوم الفخار المعالج بالحديد هو الوحيد القابل للتجديد بنسبة 100%	يزيل الزرنيخ الخماسي والثلاثي
مبادل شاردي	المبادل الشاردي النوعي للكبريتات يزيل الزرنيخ أيضا"	جدوى ضعيفة في التراكيز الخفيفة والمياه عالية الملوحة
الأغشية		فعالية عالية ولكن كلفة اقتصادية مرتفعة جدا". تستخدم طرائق الأغشية في المراحل النهائية للمعالجة وضمن متطلبات خاصة حيث إنها تعطي مياها" نسبة الزرنيخ بها أقل من 2 نانوغرام/لتر
المعالجة الحيوية	مرشح رملي تنمو على سطحه طبقة حيوية تعيش عليها أحياء دقيقة قادرة على هضم الزرنيخ	كلفة منخفضة مع نسبة إزالة مقبولة تتعلق بزمن العبور للماء وبتركيز الزرنيخ الأولي وبكثافة الكتلة الحيوية

الفصل السادس

طرائق معـالجـة ميـاه الصـرف

تحتوي مياه الصرف مزيجا" معقدا" من المواد المنحلة و المواد غير المنحلة، ويمكن تقسيمها وفق الآتي:

- مواد معلقة مختلفة في سرعة ترسبها.
- مواد غروية أو مستحلبة (مواد دهنية وزيتية منحلة) أو عائمة على السطح (مواد هيدروكربونية) أو رغوية (مواد فعالة سطحيا).
- مواد منحلة معدنية أو عضوية.

يتمتع بعض تلك المركبات بفعالية عالية في التحلل الحيوي، ويتمتع بعضها الآخر بسمية تجاه النباتات أو الحيوانات، وقد يكون بعضها مثبطا" لتكاثر البكتريا، وأمكن تحديد ثلاث مجموعات للمعايير الخاصة بتلوث مياه الصرف، وهي:

1 – المقاييس العامة لتلوث المياه:

يعبر عن المقاييس العامة للتلوث بالأرقام، وتشمل تلك المقاييس الخواص الأساسية لمياه الصرف، المواد المعلقة والمركبات القابلة للأكسدة والمواد القابلة للتحلل الحيوي، وهي تقاس بدلالة الطلب على الأكسجين (الكيميائي، أوالحيوي الكيميائي)، المهمة جدا" لكونها تحدد كمية الأكسجين المستهلكة بأكسدة الملوثات في الوسط الطبيعي، أو خلال عمليات التنقية للوصول إلى حالة توازن جديدة بعد حدوث عملية التمعدن الكاملة.

2 – التحاليل النوعية:

تجرى التحاليل النوعية على بعض أنواع مياه الصرف المتمتعة بخواص معينة، وتعتمد على تحليل عنصر أو أكثر من الملوثات التي تتطلب إزالتها معالجة خاصة (كالسيانيد).

3– التحاليل الحيوية:

تجرى تحاليل حيوية تقليدية، وتحاليل خاصة تبعا لمصدر مياه الصرف، فالمياه القادمة من مخلفات المشافي تكون غنية جدا" بالأحياء الدقيقة الممرضة ويجب إجراء اختبارات إضافية لها.

6. 1 تصنيف التلوث:

6. 1. 1 التلوث الحضري (مياه الصرف الحضرية):

يعبر عادة عن حمولة الماء بالمواد الصلبة بدلالة حجم مياه الصرف المطروحة، بالمعايير الآتية: المواد المعلقة (MES)، المواد المعلقة المعدنية (MESM)، والمواد المتبقية الصلبة الكلية (MST).

ويعبر عن الحمولة العضوية بدلالة المقاييس: الطلب الكيميائي الحيوي على الأكسجين (DBO) والطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO)، والمواد المعلقة القابلة للتطاير (MVS)، أما الحمولة البكترية في العينة فيجري تحديدها بعد عملية الزرع.

تحتوي مياه المجارير العامة للمدن على مياه الصرف المنزلية، ومياه الصرف الصناعية الناتجة عن الوحدات الصناعية الصغيرة داخل المدن، وكذلك مياه الأمطار وبعض الينابيع التي تتدفق مباشرة إلى المجاري العامة.

آ) مياه الصرف الناتجة عن الاستعمالات المنزلية:

تجمع مياه الصرف القادمة من التجمعات السكنية في أقنية خاصة تقع عادة في مستوى منخفض بأي بناء قائم ضمن المدينة، وتطرح تلك المياه خارج التجمعات السكنية ويمكن تقسيم مصادرها وفق الآتي:

- مخلفات الانسان الطبيعية (بول، براز،...،... .)، ويستخدم الإنسان الواحد عادة 20 إلى 30 لترا" يوميا"، تنقل بقنوات خاصة، ويكون تركيبها التقريبي كما هو وارد في الجدول (6 – 1):

الجدول 6 – 1: معدل نواتج الإنسان الواحد من المخلفات الطبيعية يوميا" {75}.

المعيار	غرام للفرد يوميا
DBO_5	18 – 12
DCO	35 – 25
MES	12 – 8
MVS	12 – 8
NH_4^+ - N	5.25 – 3.5
P (فُسفور)	2 – 0.2
بكتريا	10 مليار في 100 مل ماء

- مياه الاستعمالات المنزلية الأخرى (مغسلة، حمام، مطبخ)، يختلف حجم مياه الاستعمالات المنزلية ونوعيتها جدا" تبعا للأجهزة المستعملة في المنزل (غسالة ألبسة، غسالة أواني المطبخ،...،... .) وبالتالي فإن كمية ونوعية مياه الصرف المنزلية ترتبط مباشرة بالمستوى الاقتصادي للسكان، ويتراوح حجم الماء المستعمل للإنسان الواحد بين 15 و110 لترات يوميا"، ويعطي الجدول (6 – 2) متوسط مخلفات الإنسان الواحد يوميا" باستثناء مياه المراحيض.

الجدول 6 – 2: معدلات المخلفات الناتجة عن الإنسان الواحد يوميا"باستثناء مياه المراحيض {75}.

المعيار	غرام للفرد/ يوميا"
DBO_5	50 - 40
DCO	95 - 75
MES	40 - 30
MVS	30 - 20
NH_4^+ - N	10 - 6
P (فُسفور)	4 - 2

ونجمل في الجدول (6 – 3) مخلفات الإنسان الواحد يوميا.

الجدول 6 – 3: مخلفات الإنسان الواحد في اليوم الواحد{75}.

الحجم الأعظمي(لتر)	150	MVS (غرام)	40 - 30
DBO_5 (غرام)	60 - 50	NH_4^+ – N (غرام)	15 - 9
DCO (غرام)	130 - 100	P (غرام)	6 - 2
MES (غرام)	50 - 40	حمولة بكترية مقدرة بعدد كوليفورم برازية في 100 مل ماء	10^5 - 10^{10}

ب) مياه غســيل الســاحات والشــوارع:

تحتوي المياه الناتجة عن غسل الساحات العامة والشوارع مواد دسمة وزيوتا" إضافة إلى المواد الصلبة المعلقة من تراب وفحم وغيره. ولا يمكن إعطاء فكرة عن محتويات تلك المياه من المواد

الملوثة لأنها تتباين جدا" بين المدن الصناعية والمدن الساحلية والداخلية، وكذلك فإنها تختلف بين فصل وآخر، إضافة إلى العامل الحضاري.

ج) مياه الصرف الصناعية:

تحوي مياه المجارير العامة على نسبة لا بأس بها من مياه الصرف الصناعية الناتجة عن بعض الصناعات الصغيرة المتمركزة داخل المناطق السكنية. ويتغير تركيب تلك المياه من صناعة لأخرى.

د) المياه النقية المتسربة إلى المجارير العامة:

يتسرب إلى المجارير العامة مياه نقية قادمة من ينابيع أو قنوات مائية تحت سطح الأرض، وتصب مباشرة ضمن المجارير العامة، وتتعلق كمية المياه بعوامل كثيرة أهمها:

1 – مستوى مياه قنوات المجارير بالنسبة إلى مستوى المياه الجوفية.

2 – نوعية المواد المصنوعة منها المجارير (إسمنت، بلاستيك، تراب،....،...).

3 – نفاذية التربة.

هـ) مياه الأمطار:

تتجمع مياه الأمطار المتساقطة على المناطق السكنية في المجارير العامة حاملة معها الأوساخ التي في الجو وعلى السطوح المتساقطة عليها أو المتدفقة عبرها، ولذلك فهناك اختلاف كبير في كمية تلك المياه ودرجة تلوثها من منطقة لأخرى، ولا يمكن إعطاء معدلات عامة لها.

نوجز بالجدول (6 – 4) النتائج التحليلية لمياه المجارير العامة لتجمع سكاني بمعدل استهلاك 150 ليترا" يوميا" للإنسان الواحد.

الجدول 6 – 4: تركيب مياه الصرف مقدرة بالغرام في المتر الكعب الواحد {75}.

نوعيـة الملوثات	معدنية	عضوية	كلية	DBO_5
مواد معلقة تفصل بالترقيد	130	270	400	130
مواد معلقة لا تفصل بالترقيد	70	130	200	80
مواد منحلة	330	330	660	150
المجموع	530	730	1260	360

6. 1. 2 التلوث الصناعي (مياه الصرف الصناعية):

تحتاج الصناعات إلى كميات كبيرة من المياه، ونذكر على سبيل المثال الاحتياجات المائية للصناعات الآتية:

- يلزم 100 لتر ماء لإنتاج كيلو غرام واحد من السكر.
- يلزم 0.5 إلى 2 طن ماء لمعالجة طن واحد من الحليب.
- يلزم 200 طن من الماء لإنتاج طن واحد من الورق.
- يلزم 25 لترا" من الماء لإنتاج لتر واحد من البيرة.
- يلزم 3 إلى 400 طن من الماء لإنتاج طن واحد من الأسمدة الآزوتية.

فالتلوث الصناعي كبيرٌ جدا" مقارنة بالتلوث الناتج عن مياه الصرف الحضرية، فإنتاج طن واحد من النسيج يعادل مخلفات 2000 إلى 5000 شخص مقاسا" بحمولة الماء من DBO_5.
يختلف تركيب مياه الصرف الصناعية من صناعة إلى أخرى، ولا يمكن إعطاء مقاييس عامة لها كما هو الوضع في حالة مياه الصرف الحضرية، ولكن يمكن تصنيفها ضمن ثلاثة أصناف:
الصنف الأول: مياه الصرف الصناعية ذات المواصفات المعدنية، وأهم تلك المياه هي:

- مياه الصرف الناتجة عن مصانع معالجة الفلزات المعدنية.
- مياه الصرف الناتجة عن مصانع التعدين.
- مياه الصرف الناتجة عن المصانع الكيميائية المعدنية.
- مياه الصرف الناتجة عن مصانع معالجة السطوح المعدنية.

وتتميز مياه الصرف تلك بخواص مشتركة أهمها:

- حمولة عالية بالمواد المعلقة والمواد المنحلة.
- طلب كيميائي على الأكسجين مختلف حسب نوعية الصناعة.
- احتمال وجود مركبات سامة أو مثبطة للفعل البكتري.
- قيمة منخفضة للطلب الحيوي الكيميائي للأكسجين.

وتعالج تلك المياه بالطرائق الفيزيائية الكيميائية (تصفية، تكتل، ترقيد، ترشيح) والطرائق الكيميائية لإزالة العناصر السامة ولتعديل قيمة pH الوسط، بينما يكون استعمال طرائق المعالجة الحيوية نادرا" في تلك الحالات.

الصنف الثاني: مياه الصرف الصناعية ذات التلوث العضوي.

تنتج تلك المياه أساسا" عن الصناعات الغذائية (المسالخ، مصانع حفظ الفواكه والخضار، مصانع الحليب والجبن، مصانع السكر، مصانع الجعة والنشويات وغيرها،....،... .)، ورغم اختلاف تركيب مياه الصرف فإنها تشترك بالمميزات الآتية:

- احتوائها على مواد معدنية ونباتية معلقة.
- احتوائها على المواد الدسمة.
- احتوائها على البروتينات.
- احتوائها على السكريات وأملاح مختلفة.
- تمتعها بقابلية عالية للتحلل الحيوي ولذلك فإنها تعالج بالطريقة الحيوية.

الصنف الثالث: مياه الصرف المختلطة.

تتميز مياه الصرف المختلطة باحتوائها على مواد قابلة للتحلل الحيوي، غير أن سرعة التحلل تكون بطيئة أو معدومة لاحتواء الماء على عناصر سامة أو مثبطة للفعل البكتري، أو نتيجة انعدام المواد المغذية للبكتريا في الوسط المائي. ومن الصناعات التي تتميز مياه صرفها بهذه الخواص نذكر: صناعة النسيج وصناعة الورق والخشب وصناعة الكيمياء العضوية ومصافي النفط والصناعات البتروكيميائية والصيدلانية، وتحتوي تلك المياه على عناصر مشتركة أهمها:

- مواد معلقة مختلفة (رمل، خيوط، سليلوز،....،... .).
- مواد هيدروكربونية منحلة أو طافية.
- مواد رغوية زيتية ناتجة عن الزيوت والمواد الدهنية و المواد الفعالة سطحيا".
- مواد فعالة سطحيا" ومواد ملونة وفينولات وغيرها.

يمكن معالجة تلك الأنواع من مياه الصرف بالطرائق الحيوية على شرط أن تجرى عليها عمليات أولية للتخلص من المواد السامة والمثبطة للفعل البكتري مع إضافة بعض المواد للحصول على شروط موافقة للمعالجة الحيوية بحيث تتحقق النسب الآتية:

$$DBO_5 / N / P = 100 / 5 / 1$$

$$DCO / DBO_5 < 3$$

6. 1. 3 تأثير مياه الصرف الصناعية في المجارير العامـــة:

يؤدي وجود مواد عضوية غير قابلة للتحلل الحيوي أو مواد كيميائية مرجعة أو مثبطة للفعل الحيوي إلى ارتفاع النسبة DCO / DBO وبالتالي وجود دليل على التلوث بالمخلفات الصناعية السائلة، تزداد باستمرار نسبة مياه الصرف الصناعية المتدفقة إلى المجارير العامة

نتيجة التوسع المستمر في بناء المنشآت الصناعية، ولكون المعالجة الموحدة أقل كلفة من المعالجة المنفصلة، فإن نسبة مرتفعة من المنشآت الصناعية تقذف بمخلفاتها مباشرة إلى المجارير العامة دون إجراء تصفية كاملة أو جزئية، وعدم احترام الشروط المحددة الموضوعة من قبل الهيئات المختصة لمياه الصرف الصناعية والخاصة بمواصفات المياه المسموح بتدفقها في المجارير العامة (ملحق 3).

ونذكر على سبيل المثال حالة مدينة حلب المعروفة بأنها تمتلك قاعدة صناعية مهمة، حيث تبلغ كمية المخلفات السائلة 480 ألف متر مكعب يوميا" منها 36 ألف متر مكعب مخلفات سائلة صناعية تصب في المجرور العام، وتعادل هذه الكمية نسبة 7.5% من مجمل المخلفات السائلة لمدينة حلب، ولكنها لا تعبّر عن نسبة تلوث فعلية لأن الحمولة العضوية لمياه الصرف الصناعية أعلى بكثير من الحمولة العضوية لمياه الصرف الصحي، والنسبة الفعلية للتلوث العضوي الناتج عن مياه الصرف الصناعية تعادل 15% من الحمولة العضوية الكلية لمياه المجارير لمدينة حلب، وتبين أن 49% فقط من المنشآت الصناعية في مدينة حلب تمتلك محطات معالجة مياه الصرف الصناعية والمحققة للمواصفات القياسية السورية في نهاية عام 2006، علما" أن تلك النسبة قد ارتفعت إلى 59% في نهاية عام 2007 {112}.

يمكن دراسة نسبة وتأثير المخلفات السائلة الصناعية في مياه المجارير العامة من خلال مقارنة بعض المعايير العامة لتلك المياه مع مياه الصرف المنزلية.

1- مقارنة كمية الآزوت: يكوّن الآزوت الكلي 15 إلى 20% من قيمة DBO_5 في مياه الصرف المنزلية، وبالتالي فإن أي تغيير لتلك النسبة في مياه المجارير العامة يمكن إعادته إلى وجود نسبة من مياه الصرف الصناعية.

2- pH الوسط: تكون قيمة pH مياه الصرف المنزلية قريبة من التعادل (7 إلى 5 .7), وبالتالي فإن تغير قيمة pH الوسط لمياه المجارير العامة تكون ناتجة عن مياه الصرف الصناعية.

3- كمون الأكسدة والإرجاع (E_H): تمتلك مياه الصرف المنزلية كمون أكسدة وإرجاع قدره + 100 ميلي فولط) تقريبا"، فإذا كانت قيمة كمون الأكسدة أقل من(+ 40 ميلي فولط) فإن ذلك دليل على وجود وسط مرجع (عمليات تخمر لاهوائية، وجود مواد كيميائية مرجعة) أما إذا كانت قيمة كمون الأكسدة والإرجاع أعلى من(+ 300 ميلي فولط) فإن الوسط مؤكسد، ويمكن تفسير ذلك بوجود كميات كبيرة من المواد المؤكسدة الناتجة عن المخلفات الصناعية السائلة.

4- السموم والمثبطات: تحوي بعض أنواع مياه الصرف الصناعية مركبات سامة للفعل الحيوي أو مثبطة له، فإذا كان في الوسط كميات قليلة (0.1 مغ / لتر) من شوارد النحاس أو الكروم أو

الكادميوم تتناقص فعالية البكتريا في الوسط المائي، أما وجود الكبريت بتراكيز عالية (25 مغ/ لتر) يؤدي إلى توقف كامل للفعل البكتري، ومن أهم المواد السامة في مياه الصرف الصناعية نذكر السيانيد و المركبات الحلقية الهيدروكسيلية وبعض المواد الصيدلانية (الصادات الحيوية).

5 – يؤدي تدفق المخلفات الصناعية السائلة في مياه المجارير إلى حدوث خلل في التوازن القائم ضمن الوسط المائي (اختلاف في نسبة الآزوت إلى الفُسفور إلى المركبات العضوية)، أو زيادة في الملوحة أو درجة الحرارة، وتؤدي كل تلك العوامل إلى اختلال في عملية التحلل الحيوي.

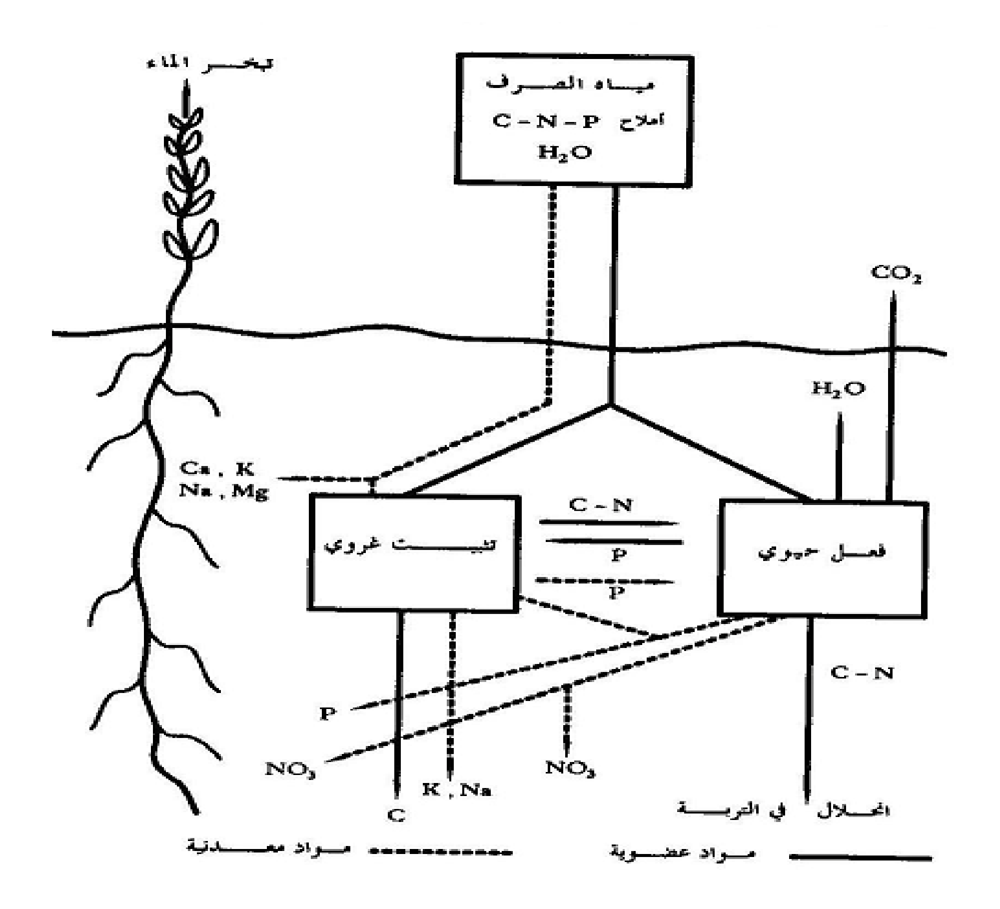
وتتعلق معايير مياه الصرف الصناعية بنوعية الصناعة وبالقوانين السائدة في الدولة المعنية، فمن أجل صناعة معينة فإن القانون يحدد عادة:

- كمية الملوثات المطروحة بدلالة الزمن.
- تراكيز العناصر المطروحة.
- تدفق مياه الصرف.

ويجري تحديد التدفق بناء على معطيات عديدة منها إنتاجية المصنع وقدرة المجرى المائي على الاستيعاب وغيرها من العوامل الإدارية الخاصة بكل دولة حتى بكل منطقة داخل الدولة الواحدة، ويتضمن الملحقان 2 و 3 الشروط القياسية السورية لمواصفات مياه الصرف المسموح طرحها في مياه المجارير العامة والمياه السطحية.

6. 2 تصفية مياه الصرف بوساطة التربـة:

إن التربة وسط حيوي طبيعي قادرعلى تصفية مياه الصرف والتخلص من المواد الملوثة المنحلة أو المعلقة ضمن تلك المياه، ويوضح الشكل (الشكل 6 – 1) الأفعال المختلفة لنظام تصفية المياه بوساطة التربة.



الشكل 6 – 1: الأفعال المختلفة لنظام تصفية المياه بوساطة التربة.

ونورد في الجدول (6 – 5) النتائج التحليلية لفعالية هذه الطريقة في حقل تجريبي.

الجدول 6 – 5: نتائج تصفية مياه الصرف في حقل تجريبي{75}.

المقياس	مياه الصرف الخام مغ/ لتر (متوسط)	المياه المعالجة مغ/ لتر (متوسط)	المردود %
MES	256	0	100
DCO	600	50	98 – 95
DBO_5	192	20	90
آزوت	88	50	40 – 30
فُسفور عضوي	36	0.01	100

تعتمد طرائق التصفية باستعمال التربة الزراعية على تفاعلات حيوية تجري باستعمال تجمعات بكترية مثبتة داخل التربة، ويستعمل لهذه الغاية مساحات شاسعة من الأرض التي تتصف بالآتي:

- عدم وجود مياه جوفية قريبة من السطح.
- وجود طبقة سطحية رملية عمقها نحو مترين وتحتوي على حبيبات رملية تتراوح أبعادها بين 0.2 و 0.3 مم.
- تتبع الطبقة الرملية بطبقة أخرى أقل نفوذية.

يمكن للهكتار الواحد من الأرض أن يعالج 1000 متر مكعب من مياه الصرف يوميا"، بشرط أن تكون تلك المياه قد تعرضت للمعالجة الفيزيائية للتخلص من الأجسام الصلبة الكبيرة المحمولة وكذلك الزيوت والشحوم الطافية على السطح قبل دخول الحقل.

تجري عملية التصفية بتعويم الماء على السطح بسماكة قدرها 5 إلى 20 سم، مرة أو مرتين في اليوم الواحد مع ترك الأرض يومين متتاليين في حالة راحة تامة، لكي يتم التخلص من المواد القابلة للتحلل الحيوي بفعل البكتريا داخل التربة التي يجري تكاثرها نتيجة اختراق مياه الصرف للتربة حاملة معها المواد العضوية المغذية لتلك البكتريا.

تتميز طريقة التصفية باستعمال التربة بالآتي:

- تكوّن التربة وسطا" طبيعيا" يحتوي على جسيمات معدنية ذات سطح نوعي متوسط ومسام تسمح لعملية الامتزاز أن تحدث بشكل جيد وكذلك للبكتريا أن تتكاثر داخلها بصورة سريعة.
- السطح المستعمل كبير جدا" ولا يمكن تعويضه بطريقة صناعية.
- وجود الأنواع المختلفة للبكتريا طبيعيا" داخل التربة.
- تجري عملية التهوية ذاتيا" دون الحاجة لاستعمال أجهزة وصرف طاقة.
- الاستفادة من العناصر التي أمكن حجزها داخل التربة في تغذية النباتات المزروعة داخل الحقل.

آ) تحلل المواد القابلة للأكسدة:

تتحول المواد القابلة للأكسدة بفعل الأحياء الدقيقة إلى مركبات معدنية ثابتة، والمواد غير القابلة للأكسدة إلى مركبات الدبال، وعندما تكون المركبات العضوية في شروط هوائية فإن الكربون العضوي يتأكسد إلى ثنائي أكسيد الكربون بفعل البكتريا الهوائية، بينما تحدث عملية إرجاع له في الشروط اللاهوائية ويتحول إلى غاز الميتان، تحتوي التربة على البكتريا اللازمة لعملية الأكسدة الكاملة للمركبات العضوية وتحويلها إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء، لنفرض أن قطعة من

الأرض مساحتها 2 إلى 3 أمتار مربعة، لها قدرة على الأكسجة (Oxygénation) قدرها 130 إلى 900 غرام من الأكسجين للمتر المربع الواحد يوميا"، وأنها تحوي 100 إلى 200 غرام من الأحياء الدقيقة في المتر المربع الواحد، إن تلك المساحة من التربة قادرة على معالجة مخلفات إنسان واحد. فالتربة تمتلك قدرة عالية لتصفية مياه الصرف بالطريقة الحيوية ولكن يتطلب ذلك فترة تماس كافية لإحداث التغيرات الكاملة.

ب) المركبات الآزوتية:

يتوافر الآزوت ضمن مياه الصرف في صيغ مختلفة:

- آزوت عضوي يدخل في تركيب الأحياء الدقيقة.
- آزوت عضوي منحل أو معلق.
- آزوت الأمونيا المنحل.

ونظرا" إلى خطورة وصول الآزوت إلى مياه الآبار المستعملة للشرب فإن تحولات الآزوت في التربة في أثناء عملية التصفية مهمة جدا"، ويجب مراقبة مياه الآبار القريبة باستمرار للتأكد من عدم تسرب الآزوت للمياه الجوفية.

1. احتفاظ التربة بالآزوت:

تحتفظ التربة مؤقتا" بالآزوت الذي تحتوي عليه مياه الصرف، ولا يعدّ ذلك الاحتفاظ عملية تخلص من الآزوت، بل مرحلة انتقالية قبل امتصاصه من قبل النباتات أو تحوله بالتفاعلات الحيوية، وتحدث عملية انتقال الآزوت من مياه الصرف إلى التربة بطرائق مختلفة نذكر منها:

- ترشيح المياه بوساطة التربة وحجز المواد المعلقة الحاوية على الآزوت في تركيبها، وتستقر تلك الجسيمات في الطبقة السطحية للتربة.
- امتصاصا" شعريا" للمركبات الآزوتية المنحلة في الماء بوساطة الحُبيبات الترابية.
- امتزاز المركبات الآزوتية على حُبيبات التربة.
- تدبل المواد العضوية الآزوتية بوجود الأحياء الدقيقة (Humification).

2. النترجة:

تحدث عملية النترجة عند توافر الشروط المناسبة للأكسدة (بيئة هوائية،pH قاعدي، درجة حرارة عادية) ويتحول الآزوت العضوي إلى آزوت معدني (نتريت، نترات)، وتقوم البكتريا الهوائية (*Nitrobacter ,Nitrosomonas*) بعملية الأكسدة مستعملة غاز ثنائي أكسيد الكربون كمادة كربونية.

3. نزع الآزوت Dénitrification:

تمثل عملية نزع الآزوت إرجاع النترات بطريقة حيوية إلى غاز أحادي أكسيد الآزوت N_2O ويحدث التفاعل عند توافر الشروط الآتية:

- وسط هوائي.
- وسط قلوي.
- درجة حرارة مرتفعة (60° – 65° م).
- وجود مواد عضوية في الوسط (توجد المواد العضوية دوما" في مياه الصرف).

4. انتقال الآزوت للنباتات:

تؤثر النباتات المزروعة في حقل مروي بمياه الصرف في مصير الآزوت مباشرة وعلى نحو غير مباشر، حيث يتمثل التأثير المباشر بامتصاص النباتات للآزوت من أجل نموها، بينما يتمثل التأثير غير المباشر بإيجاد الظروف الملائمة في التربة لعمليات النترجة ونزع الآزوت، ففي فترات الجفاف يمتص النبات الرطوبة من التربة مؤديا" إلى زيادة سرعة النترجة، إضافة إلى أن وجود الجذور في الأرض يساعد على عملية التهوية للتربة.

ج) المركبات الفُسفورية والصودية:

تحتوي مياه الصرف مركبات فوسفورية ناتجة عن استعمال المواد المنظفة على نطاق واسع، وكذلك المركبات الصودية الناتجة عن استعمال كلور الصوديوم أو القادمة من المياه المالحة أو الناتجة عن عمليات إزالة قساوة المياه، تتمتع التربة بقدرة عالية على امتصاص المواد الفُسفورية، ولذلك فإن تسربها ضعيف جدا" كما أن ارتفاع نسبة الصوديوم في مياه الآبار نتيجة تسربها لا يشكل عاملا" ملوثا"، أما الضرر الناتج عن امتصاص التربة للصوديوم فإنه يتمثل في تغيير بنية التربة وبالتالي تغير فعاليتها الزراعية.

د) الجراثيم الممرضة:

تظل مشكلة وجود البكتريا والفيروسات المسببة للأمراض، واحتمال تسربها إلى المياه الجوفية قائمة دوما"، رغم قدرة التراب على امتزازها وإيقافها ومنع حدوث التلوث في المياه الجوفية، وقد تبين أن طبقة من التربة سمكها متر واحد وغير متشققة قادرة على حماية الطبقات الأدنى من التلوث بالبكتريا الممرضة.

6. 3 طرائق التصفية الفردية لمياه الصرف المنزلية:

تمثل طريقة حفرة التعفّن مرحلة أولية وأساسية في عملية التصفية، ولكنها غير كافية لإعطاء مياه معالجة جيدا"، وبناء على ذلك يجب متابعة المعالجة باستعمال التصفية تحت سطح الأرض

باستعمال قنوات خاصة بذلك ومصنوعة ضمن شروط وقياسات محددة لتجنب حدوث تلوث سطحي أو انهيار في التربة أو تلوث لمياه الشرب الجوفية، لذلك يسبق المشروع دراسة جيولوجية لطبيعة الأرض.

يخلف الفرد الواحد 15 – 25 لترا" من مياه المراحيض يوميا" وهي تحتوي تراكيز عالية من الكوليفورم البرازية يصل تعدادها إلى (10^{10} في 100 مليلتر ماء) من ماء المراحيض، كما تحتوي 20 إلى 30 % منDBO و DCO الكلية لمياه الصرف المنزلية، أما الآزوت في مياه الصرف المنزلية فإن معظمه يأتي مع مياه المراحيض (65%)، يعطي الجدول (6 – 6) نموذجا لتحليل مياه الصرف المنزلية والناتجة عن الاستعمالات المختلفة.

الجدول 6 – 6: تركيب مياه الصرف المنزلية {75}.

المقياس غرام للفرد يوميا	مياه المراحيض	جلاية	حوض المطبخ	غسالة الألبسة	الحمام	المجموع العام
DBO_5	10.7	12.6	8.34	14.8	3.09	49.53
MES	12.5	5.3	4.11	11	2.26	35.17
MVS	10.2	4.5	3.84	6.5	1.58	26.62
آزوت كلي	4.1	0.5	0.42	0.75	0.31	6.08
آزوت الأمونيا	1.1	0.05	0.03	0.03	0.04	1.22
الفُسفور الكلي	0.6	0.8	0.42	2.15	0.04	4.01
درجة الحرارة	18	38	27	32	29	–

6. 3. 1 حفرة التعفن (Fosse Septique):

تستعمل لجمع وتصفية مياه الصرف المنزلية منذ فترة طويلة جدا" ولاسيما مياه المراحيض، ومازالت القوانين الحالية تتضمن شروط استعمالها ومواصفاتها، غير أن مياه الصرف الناتجة اليوم عن المناطق السكنية تحتوي مواد مثبطة لفعالية البكتريا مثل المواد المنظفة والمواد الصيدلانية (الصادات الحيوية) مع ارتفاع نسبة الملوحة، إن وجود تلك المواد في مياه الصرف يؤدي إلى اضطراب عملية التحولات كليا" أو جزئيا" تبعا" لنوعية تلك المواد وتركيزها.

آ) مراحل عملية التصفية في حفرة التعفن:

تقوم حفرة التعفن بمهمات عديدة منها تجميع مياه الصرف وترقيدها ويحدث داخلها تحلل المركبات العضوية التي في مياه الصرف بطريقة التخمرات اللاهوائية، ويمكن تقسيم الظواهر الحادثة إلى نوعين:

- ظاهرة فيزيائية: تشمل عملية الترقيد لفصل الجسيمات الثقيلة وعملية التطويف لفصل الجسيمات الخفيفة والزيوت والمواد الدسمة التي تكون طبقة سطحية تسمى الغطاء الهاضم (Chapeau de Digestion) ينغمر 30% منها في الماء ويبقى 70% فوق السطح.
- ظاهرة حيوية: تتمثل بعمليات التخمر اللاهوائية للمواد العضوية التي في مياه الصرف والقابلة للتخمر، بفعل بكتريا تحول المركبات العضوية المعقدة إلى حموض عضوية أقل تعقيدا" في المرحلة الأولى، ثم تحول تلك الحموض إلى غاز الميتان وغاز ثنائي أكسيد الكربون وكبريت الهيدروجين في المرحلة النهائية، وهي ذات روائح كريهة، وتنطلق الغازات الناتجة من قاع الحفرة نحو الأعلى حاملة معها البكتريا النشيطة مما يؤدي إلى استمرار عملية التخمر في الطبقة السطحية وبذلك تتحلل المواد الطافية.

تتعلق فعالية عمليات التخمر في حفرة التعفن بعوامل كثيرة أهمها:

- السعة: يجب أن تكون الحفرة واسعة بحيث تكفي لاستيعاب السائل والمواد الطافية والمواد الراسبة.
- زمن التماس: يكون زمن التماس عادة طويلا" جدا" بين الحمأة والسائل، ويمثل الفترة الزمنية الفاصلة بين عمليتي تفريغ متتاليتين للحفرة (2 إلى 3 سنوات)، وبالتالي فإن عملية التخمر تتخامد مع الزمن نتيجة انخفاض درجة الحرارة وتحولات قيمة pH الوسط وتجمع المواد السامة والمواد المثبطة للفعل البكتري.
- اضطرابات هيدرولية: تنتج الاضطرابات الهيدرولية عن اختلاف التدفقات عند استعمال بعض الأجهزة المستهلكة للماء في المنزل (الغسالة، استعمال الحمام,....،... .)، وتؤدي زيادة سرعة التدفق إلى السقوط السريع للماء داخل الحفرة وبالتالي دفع الحمأة نحوالسطح، أما تدفق الماء الساخن فإنه يؤدي إلى إذابة جزئية للمواد الدسمة، ولذلك يجب إقامة حاجز بين فوهة التدفق وسطح المياه المتجمعة داخل الحفرة للتخلص من الاضطرابات الهيدرولية.

- درجة الحرارة: تتوقف عمليات التخمر في درجة حرارة أقل من 10^o م, ولكن درجة حرارة الحفرة تظل أعلى من ذلك دوما لأنها مغلقة ومعزولة ودرجة حرارة مياه الصرف تتراوح بين 18^o م إلى 40^o م، مما يجعل الشروط ملائمة لحدوث التخمر.
- طرح المواد السامة مع مياه الصرف: نظرا" إلى كون تلك المواد قليلة التركيز ولا تطرح باستمرار في الاستعمالات المنزلية, فإن الأحياء الدقيقة قادرة على مقاومة ذلك العامل بالتكاثر السريع.
- تحولات pH الوسط: تشكل تحولات pH الوسط عاملا" سيئا" لعمليات التخمر، علما" أن الوسط القلوي يؤدي إلى تحولات جيدة.

انطلاقا من تلك المعطيات المؤثرة في عمليات التخمر في حفرة التعفن, فمن الضروري الأخذ في الحسبان عند استعمال حفرة التعفن الآتي:

- عدم طرح الأقمشة والورق القاسي ضمن المجارير المائية.
- فصل قنوات مياه الأمطار والمياه الحارة المستعملة عن مياه الصرف لأن وجودها يؤدي إلى تغيرات مفاجئة في درجة الحرارة وإلى تمديد الوسط مما يؤدي إلى تناقص فعالية التفاعلات التخمرية.
- التخفيف ما أمكن ذلك من طرح الزيوت والفحوم الهيدروجينية (بنزين، مازوت، زيوت وشحوم،...،...).

ب) القياسات المطلوبة لحفرة التعفن:

تتعلق السعة لحفرة التعفن بعوامل كثيرة نذكر منها:

- عدد السكان أو عدد الغرف في المسكن.
- كمية مياه الصرف المتدفقة.
- الفترة الزمنية الفاصلة بين تفريغين متتاليين للحفرة (عامين أو ثلاثة أعوام)، والسعة المفيدة الجيدة لحفرة التعفن 200 لتر للإنسان الواحد في العام، على أن يكون الارتفاع أعلى من واحد متر، فإذا كان على سبيل المثال، عدد السكان 4 أشخاص وتتم عملية التفريغ مرة كل ثلاثة أعوام فيجب أن يكون حجم الحفرة 2400 لترعلى الأقل، لأن الرواسب الناتجة عن الإنسان الواحد مقدارها 100 لتر سنويا" وبالتالي يجب أن يكون حجم الحجرة ضعف الحجم الذي تشغله من قبل المخلفات الراسبة على أقل تقدير، ويعطي الجدول (6 – 7) الأبعاد الواجب التقيد بها لبناء حفرة التعفن المكونة من حجرتين.

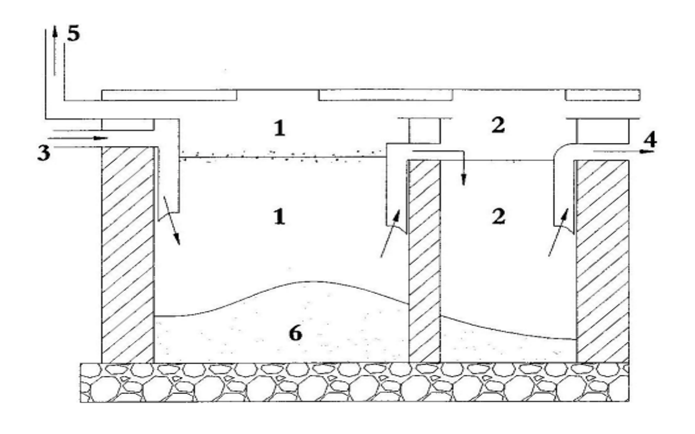
الجدول 6 – 7: أبعاد حفرة التعفن في حالة حدوث عملية التفريغ مرة كل ثلاثة أعوام.

عدد السكان	1–4	5	6	8	10
السعة المفيدة الكلية (لتر)	2400	3000	3600	4800	6000
السعة المفيدة للحجرة 1 (لتر)	1600	2000	2400	3200	4000
السعة المفيدة للحجرة 2 (لتر)	800	1000	1200	1600	2000
الحد الأدنى لارتفاع الماء (سم)	125	130	140	150	160
الحد الأدنى للارتفاع الداخلي(سم)	155	160	170	180	190
سطح الحجرة 1 (م^2)	1.28	1.54	1.71	2.13	2.5
سطح الحجرة 2 (م^2)	0.64	0.77	0.86	1.07	1.25

لا تحتاج حفرة التعفن إلى أية صيانة خلال فترة استعمالها سوى عملية التفريغ (مرة كل 2 إلى 3 أعوام)، يحتفظ عادة بنسبة 20% من الحمأة الموجودة في الحجرة الأولى عند عملية التفريغ, بينما تفرغ الحجرة الثانية تماما"، تُضاف مواد مساعدة على التخمر أحيانا" في هيئة مزارع بكترية أو مواد إنزيمية مغذية لنمو البكتريا، وكذلك مواد مساعدة على حلمهة المواد الدسمة.

ج) إنشاء حفرة التعفن :

يجري إنشاء حفرة التعفن قرب المنزل, وتتألف عادة من حجرتين (الشكل 6 – 2).



1و 2 حفرة التعفن ، 3 – المياه الخام ،4 – المياه المعالجة، 5– الغازات المنطلقة، 6– الحمأة الراسبة.

الشكل 6 – 2: حفرة التعفن المصنوعة من الإســمنت.

تتلقى الحجرة (1) مياه الصرف وتمثل ثلثي الحجم الكلي للمنشأة، ويمكن تصميم الحفرة في هيئة ثلاث حجرات تكون نسب أحجامها على الترتيب (6 / 3 / 1)، تصب مياه الصرف في الحجرة (1) بوساطة أنبوب يصل إلى مسافة داخل الحجرة تسمح لمياه الصرف بالتدفق داخل السائل مباشرة لتجنب حدوث الاضطرابات الهيدرولية نتيجة السقوط القوي، ولذلك يجب أن تكون نهاية الأنبوب تحت مستوى سطح الماء مع وجود انعطاف في الأنبوب ليظل مملوءا" بالماء، لمنع خروج غازات التخمر عبر الأنبوب والوصول إلى بالوعات المنزل الداخلية.

يمر السائل من الحجرة (1) إلى الحجرة (2) إما بوساطة فتحة لا يقل اتساعها عن 100 سم^2، وتكون على ارتفاع يعادل ثلثي الارتفاع الكلي للحجرة، أو بوساطة أنبوب منغمر داخل السائل في الحجرة (1) بحيث يسمح بتدفق السائل المصفى عبره. يجب أن تكون فتحة الأنبوب واقعة تحت سطح الطبقة الطافية وفوق سطح الطبقة الراسبة، يمثل غاز الميتان والغازات الأخرى المنطلقة والناتجة عن عملية التخمر خطرا" حقيقيا" على سير عملية التخمر، ولذلك يجب السماح لها بالخروج الحر عبر أنابيب خاصة مجهزة بساحبات للغاز وتمتد تلك الأنابيب إلى ارتفاع المسكن لمنع التلوث المباشر لهواء المنزل.

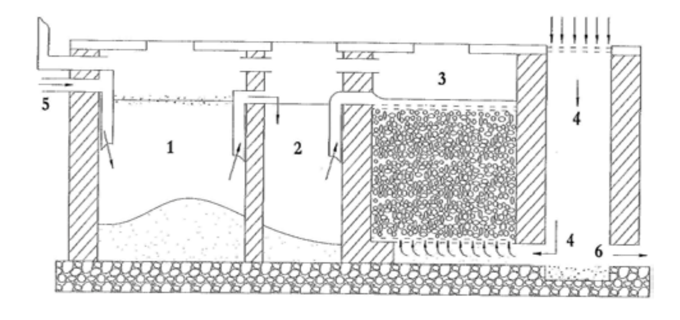
6. 3. 2 المرافق الملحقة بحفرة التعفن:

آ) المرشحات البكترية:

تخرج المياه المعالجة من حفرة التعفن وقد تخلصت من قسم كبير من المركبات العضوية المنحلة والمعلقة، ويمكن متابعة عملية التصفية بإضافة مرشح بكتري بشكل متصل مع حفرة التعفن أو بشكل منفصل عنها.

- مرشح بكتري هوائي:

يستعمل هذا النوع من المرشحات على نطاق واسع، ويجري بداخله تفاعلات الأكسدة الهوائية للمركبات العضوية المنحلة في المياه الخارجة من حفرة التعفن، والشكل (6 – 3) يوضح المرشح البكتري المتصل مع حفرة التعفن.



1 و 2 - حجرتا التعفن، – 3 – المرشح البكتري الهوائي، – 4 – الهواء، 5 – الماء الخام، 6 – الماء المصفى.

الشكل 6 – 3: المرشـح البكتري الهـوائي الملحق بحفـرة التعفن.

يمر الماء القادم من حفرة التعفن عبر أنبوب متقوب من جهته السفلى الملامسة لسطح المرشح البكتري, وتخرج المياه من تلك الثقوب لتتساقط على شبك معدني يساعد على توزعها على سطح المرشح. يحتوي المرشح بداخله مواد حُبيبية (فحما"، رمادا"، الفحم الحجري، جفاءً مطحونا"، بزولانا")، وتكون أبعاد تلك الحُبيبات 0.4 إلى 0.8 مم وارتفاع الطبقة المرشحة 80 سم على الأقل وحجمها واحد متر مكعب على الأقل (1.5 مترا" مكعبا" على الأقل لمنزل مؤلف من 6 غرف).

يتوضع في أسفل المرشح شبك يحمل الطبقة المرشحة وتمر عبرها المياه المصفاة إضافة إلى دخول الهواء من الأسفل إلى الأعلى، وينظف المرشح مرتين في العام.

يلخص الجدول (6 – 8) النتائج المستحصل عليها من دراسة مرشح هوائي يحتوي بداخله الرمل كمادة مرشحة حيث تكون أبعاد حبيبات الرمل محصورة بين 0.25 و 0.6 مم وارتفاع طبقة الرمل 70 سم مع وجود طبقتين من الحصى، علما" أن سرعة تدفق المياه 7.2 لترا" للمتر المربع من سطح المرشح يوميا".

الجدول 6 – 8: فعالية المرشـح البكتري الهوائي الملحق بحفرة التعفن {75}.

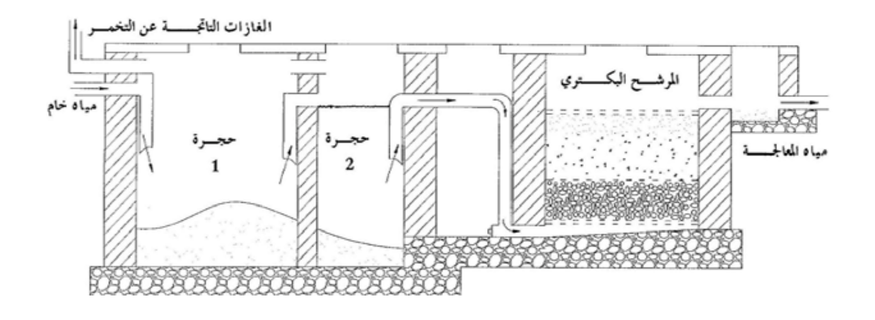
المقياس	المياه الخارجة من الحفرة	المياه الخارجة من المرشح
فُسفور كلي مغ / لتر	14.2	8.2
فُسفور منحل مغ / لتر	10.7	7.6
مـواد معلقـة مغ / لتر	68	11
DBO_5 مغ / لتر	169	1.8
DCO مغ / لتر	344	22
$N - NH_4^+$ (مغ / لتر)	49	1
N - NTK (مغ / لتر)	63	1.9
$N - NO_2$ (مغ / لتر)	0.02	0.11
$N - NO_3$ (مغ / لتر)	0.15	32.2
كوليفورم كلـي في 100 مليلتر ماء	0.37×10^6	428
كوليفورم برازي في 100 مليلتر ماء	0.74×10^6	25

- **مرشـح بكتري لاهوائـي:**

تجرى عملية التصفية داخل المرشح البكتري اللاهوائي(الشكل 6 – 4) بوساطة التفاعلات المرجعة (التخمرات اللاهوائية) التي ينتج عنها غاز الميتان وغاز الكربون وكبريت الهيدروجين كمركبات نهائية. وللمرشح هذا ميزات عديدة نذكر منها:

- يدخل الماء من الأسفل نحو الأعلى، ولذلك لا يحتاج إلى نظام لتوزيع السائل.
- تنتج العمليات الحيوية اللاهوائية كمية من الرواسب أقل بكثير مما تنتجه العمليات الهوائية، مما يجعل الفترة الفاصلة بين عمليتي غسيل متتاليتين تصل إلى 18 شهر"ا عوضا" عن 6 شهور في حالة المرشح الهوائي.
- يخرج الغاز الناتج مع الماء ولا حاجة لوضع أجهزة خاصة لسحب الغازات.

يتكون المرشح من طبقة من الحصى سمكها 70 إلى 90 سم ومغطاة بطبقة من الحصى الأصغر حجما بحيث يكون سمكها 7 إلى 10سم, وتكون السعة الكلية للمرشح 150 لترا" للإنسان الواحد المقيم في المنزل، على ألا يقل الحجم الكلي للمرشح عن 600 لتر.

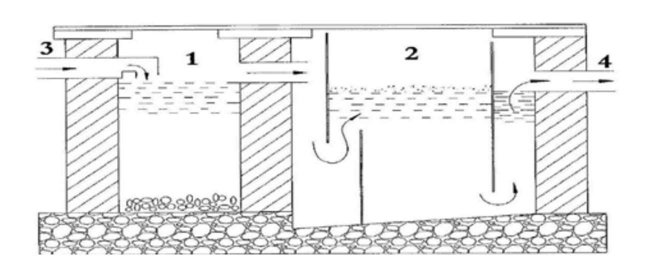


الشكل 6 – 4: المرشــح البكتري اللاهوائي الملحق بحفرة التعفن

ب) أحواض فصل الزيوت والشحوم:

لكي يؤدي الحوض دوره جيدا" لابد من أن يتناسب حجمه مع حجم حفرة التعفن مع الحفاظ على ثبات الطبقة العائمة (الزيوت والشحوم). ونظرا" لكون فترة الترقيد محدودة ضمن هذا الحوض فإن العمليات الحيوية مهملة في ذلك الحوض ويتلخص دوره بإزالة الطبقة الشحمية، وقد لا يتناسب ذلك مع التكاليف اللازمة لإنشائه ولصيانته ولكنه يصبح ضروريا" عندما يتضمن السكن على مصلحة معينة منتجة لكمية كبيرة من الزيوت أو الشحوم.

يوضح الشكل (6 – 5) مخططا لحوض فصل الزيوت ذي حجم قدرة 270 لترا"، وسطح قدره 0.375 مترا" مربعا" (0.25 × 1.5 متر) حيث يعطي زمن تماس داخل الحوض قدره 180 ثانية، وتزال طبقة الزيوت ميكانيكيا عندما تصل سماكتها إلى حد معين.

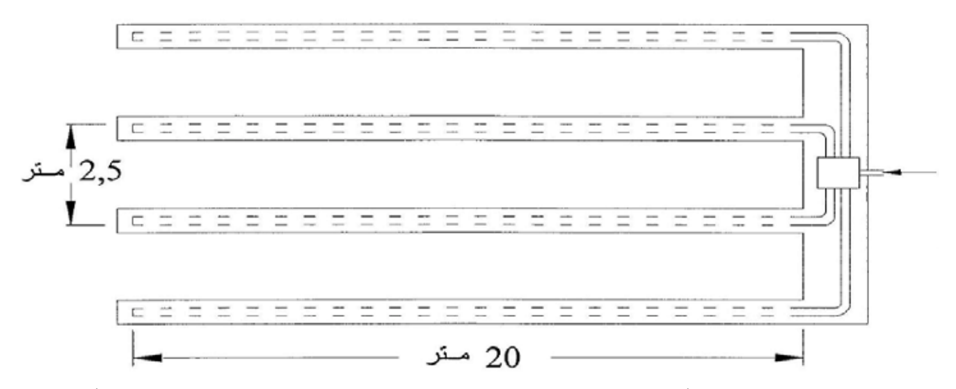


1- حوض الترويق، 2 – حوض إزالة المواد الدسمة الطافية، 3 – دخول الماء الخام،4– الماء المعالج.

الشكل 6 – 5: مخطط لمصفي المياه الحاوي على حوض الترقيد وحوض إزالة المواد الدسمة الطافية والمبني من الإسـمنت.

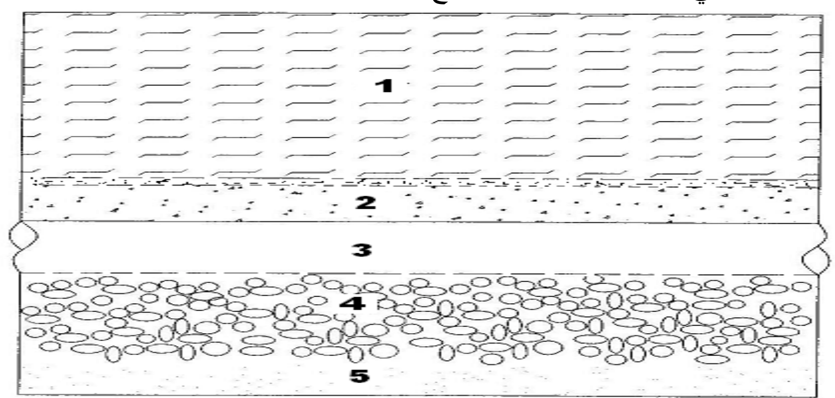
ج) التصفية تحت سطح الأرض L'Épandage Souterrain:

تحفر القنوات تحت سطح الأرض ويكون عمقها 0.5 إلى 0.7 متر وعرضها 0.3 إلى 0.6 متر في الأراضي الرملية و 0.6 إلى 0.8 متر في الأراضي الترابية الناعمة، ويمتد طولها إلى 20 مترا"، وتكون المسافة الفاصلة بين قناتين متوازيتين 2 إلى 2.5 متر (الشكل 6 – 6)، تمر عبر تلك القنوات المياه القادمة من غرفة التوزيع بعد مرحلة التصفية في حفرة التعفن أو بعد خروجها من المرشح البكتري في حالة وجودها.



الشكل 6 – 6: امتداد الأنابيب الناقلة لمياه الصرف بطريقة التصفية تحت سطح الأرض.

وتكون المياه محمولة ضمن أنابيب مصنوعة من الإسمنت أو الفخار أو البلاستيك أقطارها بين 80 و 100 مم ومثقوبة من الأسفل لخروج الماء منها (المسافة بين ثقبين متتاليين 20 إلى 30 سم)، ويعطي الشكل (6 – 7) مقطعا" للطبقات التي يمر بداخلها الأنبوب الموزع لمياه الصرف المعالجة في حالة التصفية تحت سطح الأرض.



1- تربة زراعية، 2 – رمال، 3 – أنبوب، 4 – حصى ، 5 – رمل ناعم

الشكل 6 – 7: مقطع للطبقات التي يمر بداخلها الأنبوب الحامل لمياه الصرف.

نلاحظ أن الأنابيب تستقر ضمن طبقة من الحصى سمكها 30 سم، وتقع بدورها فوق طبقة من الرمل الناعم (سمكها 5 سم)، ويوضع فوق طبقة الحصى طبقة رملية يعلوها التراب إلى مستوى أعلى من سطح الأرض بقليل بحيث يكون سمكها 20 إلى 40 سم, وتكون تلك الشبكة مستوية تقريبا" لكي يتم التوزيع جيدا"، وتعطي العلاقة الآتية سطح الأرض اللازم لتصريف المياه بهذه الطريقة:

$$A = \frac{K \quad D}{C}$$

حيث: A – السطح اللازم مقدرا" بالمتر المربع.

D – تدفق مياه الصرف مقدرا" باللتر يوميا".

C – الضغط الهيدرولي ويتعلق بسرعة الترسب داخل التربة.

K – معامل يتعلق بنوعية مياه الصرف ويمكن الحصول عليه من العلاقة الآتية :

$$K = \frac{DBO_5\,(mg/l) + MES\,(mg/l)}{120}$$

وتكون قيمة K عادة أكبر أو مساوية للواحد.

نورد في الجدول (6 – 9) نتائج ميدانية للمعالجة بطريقة حفرة التعفن وملحقاتها.

الجدول 6 – 9: نتائج ميدانية للمعالجة بطريقة حفرة التعفن وملحقاتها {75}.

المقياس	المياه الخام	مخرج حفرة التعفن	مخرج المرشح البكتري	مخرج المعالجة تحت سطح الأرض على عمق 90 سم
DBO_5 مغ / لتر	330 – 400	190	50	صفر
DCO مغ / لتر	650 – 850	450	240	–
MES مغ / لتر	260 – 340	70	60	صفر
$N - NH_4$ مغ / لتر	60 – 100	50	45	آثار
P مغ / لتر	10 – 40	15	13	آثار
الحمولة البكترية مقدرة في 100 مل ماء	$10^8 - 10^{10}$	4×10^7	–	صفر

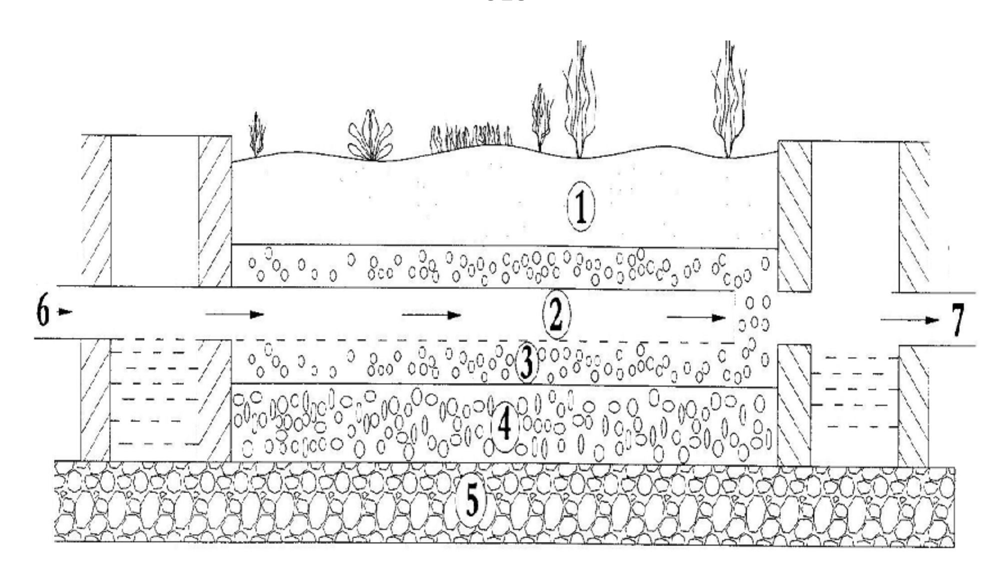
تتطلب عملية التصفية تحت سطح الأرض مساحات كبيرة نوعا" ما، وشروطا" محددة للتربة (نفوذية متجانسة ومستوى المياه الجوفية أعمق من واحد متر) وفي حالة عدم توافر تلك الشروط يغدو تطبيق تلك الطريقة غير ممكن, ولذلك تجرى عليها بعض التعديلات أو تستبدل بطريقة أخرى.

د) حوض الامتصاص:

تهدف طريقة حوض الامتصاص إلى تجميع مياه الصرف القادمة من حفرة التعفن وتصفيتها ثم طرحها من جديد، وتعتمد عملية التصفية على امتصاص العناصر من المياه بوساطة النباتات، ويكون الحوض أفقيا" ويتراوح عمقه بين 0.6 إلى 0.8 متر، ويعلو عن سطح الأرض بمقدار 10 سم لتفادي تدفق مياه الأمطار إليه (الشكل 6 – 8)، ويتكون من عدة طبقات مرتبة من الأسفل إلى الأعلى وفق الآتي:

- طبقة من الحجارة غير الكلسية سمكها 20 سم.
- طبقة من الحصى الناعم سمكها 10 سم ومغطاة بطبقة نفوذه تسمح للماء بالصعود إلى الأعلى.
- طبقة من التربة الزراعية سمكها 30 إلى 50 سم.

تزرع في الحوض النباتات القادرة على امتصاص العناصر المعدنية المنحلة في مياه الصرف والناتجة أيضا عن التحلل الحيوي (آزوت, وفُسفور)، تتناسب مساحة سطح الحوض مع عدد السكان ويصمم على أساس مترين مربعين للساكن الواحد، على أن يكون الحد الأدنى للسطح 8 أمتار مربعة، ويسيل الماء الزائد إلى الأسفل ويمر عبر طبقة الحصى ويخرج إلى خزان مصمم ليحافظ على مستوى معين للمياه داخل الحوض (الشكل 6 – 8) وتخرج المياه من الطرف الآخر لتصب في المياه السطحية أو لتستعمل في ري المزروعات.



1 - تراب صالح للزراعة، 2 – أنبوب نقل المياه المثقوب من جهته السفلى، 3 – طبقة من الحصى الصغير، 4 – طبقة من الحصى الكبير، 5 – إسمنت، 6 – المياه الخام ، 7 – المياه المعالجة.

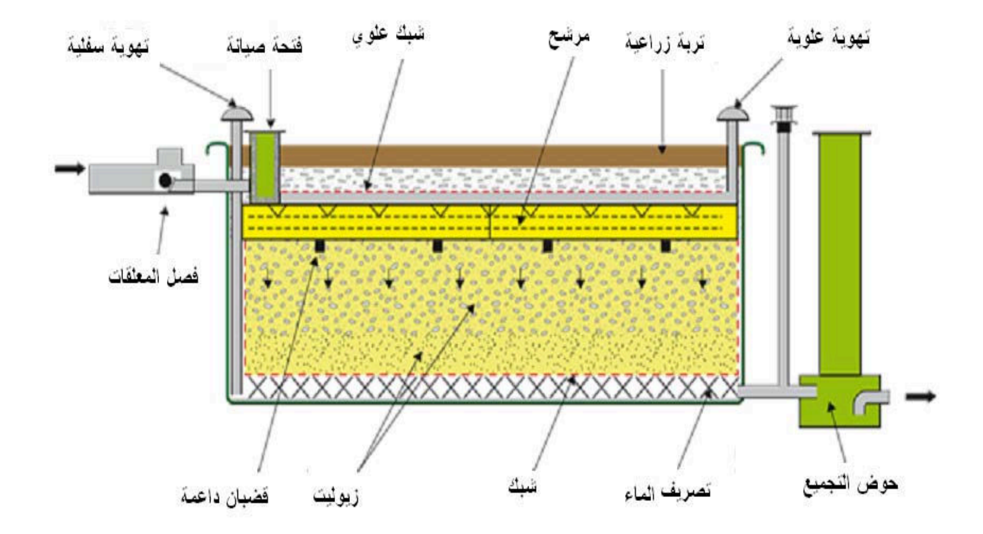
الشكل 6 – 8: معالجة المياه بطريقة حوض الامتصاص.

6. 3. 3 وحدات معالجة مصنعة لمياه الصرف المنزلية:

مع تطور التقنيات في مجال معالجة المياه، وتطور صناعة المواد البوليميرية، قدمت شركات معالجة المياه وحدات كاملة لمعالجة مياه المنازل وقابلة للتركيب السريع، بدلا" من الأحواض الإسمنتية ذات الحجوم الكبيرة، ويبين **(الشكل 6 – 9)** مقطعا" طوليا" لحوض المعالجة المكون من أربع طبقات مرتبة من الأسفل الى الأعلى كالآتي:

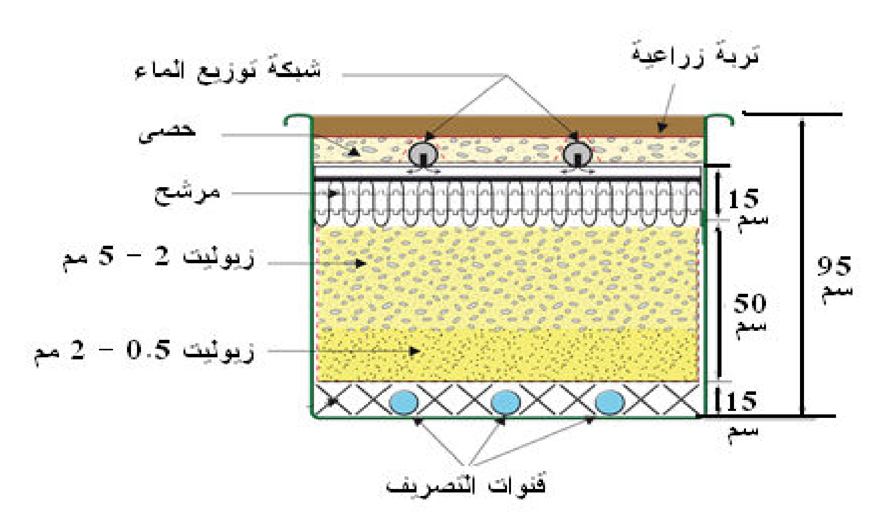
- طبقة من الزيوليت الناعم.
- طبقة من الزيوليت الخشن.
- طبقة مرشحة.
- طبقة ترابية زراعية.

كما وتزود وحدة المعالجة عند مدخلها بحوض صغير لإزالة الأجسام المعلقة والزيوت، وتتضمن نظاما" لتوزيع ماء الصرف.



الشكل 6 – 9: مقطع طولي لوحدة معالجة مياه الصرف المنزلية.

ويعطي الشكل (6 – 10) مقطعا" عرضيا" لحوض المعالجة ، مع أبعاد الطبقات المختلفة، وأبعاد حبيبات الزيوليت.



شكل 6 – 10: مقطع عرضي لوحدة معالجة مياه الصرف المنزلية.

6. 4 المعالجة الحيوية لمياه الصرف:

تعتمد طريقة التصفية الحيوية لمياه الصرف على نشاط الأحياء الدقيقة وتفكيكها للمركبات العضوية المنحلة معطية طاقة وخلايا حية جديدة مما يؤدي إلى إزالة تلك المواد العضوية القابلة للتحلل من الوسط، وتحدث عملية التحلل الحيوي على مرحلتين, تتضمن المرحلة الأولى امتزازا" سريعا" للمواد العضوية على الحمأة (الوحل الحيوي)، تليها مرحلة ثانية بطيئة، وهي أكسدة تلك المركبات وتحويلها إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء في وسط هوائي. وتتعلق سرعة التحلل الحيوي بعوامل كثيرة أهمها:

- عدد الأحياء الدقيقة.
- كمية الأكسجين المنحل.
- درجة الحرارة.
- نوعية العناصر الملوثة المنحلة، ولاسيما في حالة مياه الصرف الصناعية التي تحتوي على عناصر مثبطة للفعل البكتري أو حتى موقفة له.

يمكن قياس فعالية التحولات الحيوية الجارية بقياس الأكسجين المستهلك أو ثنائي أكسيد الكربون الناتج، وتحتوي مياه الصرف مواد عضوية سريعة التحلل الحيوي وأخرى بطيئة السرعة، وهناك بعض المركبات غير القابلة للتحلل الحيوي، مثال مركبات الدبال التي تكون في المياه الطبيعية، ويعطي الجدول (6 – 10) قابلية بعض المركبات العضوية للتحلل الحيوي.

تحدث عملية تأقلم للبكتريا مع الكثير من المركبات العضوية التي تبدو في البداية غير قابلة للتحلل، ولكن بعد مرور زمن معين من التماس نلاحظ بداية تحلل تلك المواد, وتزداد سرعة التحلل مع الزمن نتيجة التكاثر المستمر للبكتريا الملائمة لذلك النوع من التحول، يعطي الجدول (6 – 11) الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO_5) لبعض المركبات العضوية بدلالة زمن تلامسها مع البكتريا.

الجدول 6 – 10: قابلية بعض المركبات العضوية للتحلل الحيوي.

المركبات العضويـة	قابليـة التـحلل الحيـوي
المركبات الهيدروكربونية المشبعة	غير قابلة للتحلل وسامة أحيانا"
مركبات أوليفينية (5 – 7 كربون)	تتحلل حيويا بصعوبة
مركبات هيدروكربونية كلورية	غير قابلة للتحلل
الكحوليات	تتحلل بشكل جيدا" ماعدا بعضها
الفينـولات	تتحلل جيدا" ماعدا كلور الفينول الذي يتحلل ببطء
الألدهيـدات	تتحلل جيدا" ماعدا بعضها
الحموض العضويـة وأملاحها	تتحلل جيدا"
الإيتيرات	غير قابلة للتحلل أو بطيئة جدا"
السـيتونات	تتحلل بسرعة متوسطة
الحمـوض الأمينيـة	تتحلل جيدا"
مركبات السيانيد	تتحلل بفعل بكتريا خاصة والتركيز أقل من 50 مغ/لتر
المواد المنظفة	
ألكيل سـولفات	تتحلل بسـهولـة
ألكيل سـولفونات	تتحلل بسرعة في حالة وجود البكتريا المناسبة
كحول وحموض دسـمة	تتحلل بسـرعة

الجدول 6 – 11: الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين مقدرا بالنسبة المئوية من القيمة النظرية (DBO_{th} %) بدلالة عدد أيام التماس مع البكتريا.

المركب	فترة التماس مقدرة باليوم (في الدرجة 20° م)				
	5	10	15	20	50
أحادي ايتانول أمين	0	58.4	61.2	64	75.6
ثنائي اتيل أمين	0.9	1.4	3.5	6.8	–
ثلاثي اتيل أمين	0	0.8	2.6	6.2	–
ميتانول	53.4	62.7	69.4	67	97.7
أسـيتون	55.4	71.8	78.2	78.2	–
متيل ايزوبوتيل سيتون	4.4	49.3	55.9	56.6	64.8
أسيتات ايزوبروبيل	12.7	40	40	40	–
بوتانول - 2	0	44.2	69.2	72.3	77.9

يلاحظ من الجدول أعلاه أن مواد مثل (أحادي إيتانول أمين) لا تعاني أي انخفاض في قيمة DBO_5 في الأيام الخمسة الأولى, وتحولت بنسبة تفوق 50% في الأيام الخمسة التالية, وينطبق ذلك على(بوتانول - 2), مما يدل على ظهور البكتريا المناسبة للتحول بعد فترة زمنية, وتكاثرها السريع بعد ذلك. بينما تكاثر البكتريا الملائمة لتحلل (ثلاثي إتيل الأمين) ظل بطيئا" بحيث لم يتحلل إلا نحو 6% خلال 20 يوما.

يؤثر التركيز العالي للأملاح في مياه الصرف في العمليات الحيوية, حيث تتوقف عملية النترجة في المياه عالية الملوحة, ونذكر أن العمليات الحيوية تظل فعالة إلا في المياه التي تتجاوز درجة ملوحتها 2%، وتؤثر تحولات قيمة pH الوسط في التفاعلات الحيوية أيضا", حيث تنشط في الأوساط القلوية, وإن كان بعضها قادرا" على التلاؤم مع الأوساط ضعيفة الحموضة.

6. 4. 1 السرير البكتري أو المرشح البكتري:

يعتمد مبدأ السرير البكتري على مرور المياه المراد معالجتها (الخاضعة لعملية ترقيد) على مواد لها سطح نوعي مرتفع، تتثبت عليها الأحياء الدقيقة النشيطة في عملية التصفية الحيوية للماء, وتستغرق فترة تكوين الشريحة الحيوية من 2 إلى 4 أسابيع لتصبح فعالة، ويستعمل لهذه الغاية مواد مختلفة كالفحم ورماد الفحم الحجري وجفاء مطحون وبزولان (Pouzzolane)، وقد انتشر استعمال المواد البلاستيكية على نطاق واسع في السنوات الأخيرة، أما الشريحة الحيوية فتتألف من تجمع للبكتريا والفطريات وغيرها، وتحتوي عموما" بكتريا غيرية التغذية (Hétérotrophes) متمركزة على السطح الخارجي, وبكتريا ذاتية التغذية (Autotrophe) متمركزة في الأعماق.

هناك أنواع مختلفة من الأسرّة البكترية منها ما هو مخصص للمياه الضعيفة الحمولة بالمركبات العضوية, ومنها ما هو مخصص للمياه ذات الحمولة العالية.

آ) أسـس نظـريـة:

تتعلق فعالية السرير البكتري في إزالة التلوث العضوي (تعبر قيمة DBO عن مقدار التلوث العضوي) بعوامل عديدة نذكر منها:

- نوعية الماء المعالج.
- الحمولة الهيدرولية.
- درجة الحرارة .
- نوعية المواد المستعملة كحامل للبكتريا.

ويمكن التعبير عن فعالية المرشح البكتري بالعلاقة الآتية:

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_1 t} \qquad (1)$$

حيث: L_f قيمة DBO_5 للماء المصفى.

L_o قيمة DBO_5 للماء الخام المغذي للمرشح البكتري.

t زمن التماس المتوسط بين الماء والمرشح.

K_1 ثابت يتعلق بدرجة حرارة الماء، ونوعية المواد المستعملة كحامل للبكتريا، وكذلك نوعية المياه المراد معالجتها.

ولحساب زمن التماس يمكن تطبيق العلاقة الآتية:

$$t = K_2 \frac{H}{Q^n} \qquad (2)$$

حيث: H – ارتفاع طبقة المرشح البكتري مقدرة بالمتر، Q – الحمولة الهيدرولية مقدرة بالمتر المكعب من أجل المتر المربع في الساعة (م^3/ م^2 . سا)، K_2 و n ثابتان

ومنه فإن:

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_1 K_2 H Q^{-n}} \qquad (3)$$

ووفقا" لنتائج Eckenfelder و Barnhart فإن:

$$K_1 . K_2 = K_T . Ss^m \qquad (4)$$

حيث: K_T معامل متعلق بدرجة الحرارة ونوعية الحامل، و Ss السطح النوعي للحامل (م^3 / م^2)، و m معامل موجب وأقل من الواحد وتحدد قيمته تجريبيا"، لذلك يمكن كتابة العلاقة النهائية وفق الآتي:

$$\frac{L_f}{L_o} = e^{-K_T \cdot Ss^m \cdot H \cdot Q^{-n}} \qquad (5)$$

ب) نوعية المواد المستعملة في المرشح البكتري:

يمكن تقسيم المواد المستعملة في المرشح البكتري إلى نوعين أساسيين:

- **المواد الحُبيبية:**

استعملت المواد الحُبيبية منذ فترة طويلة في عملية التصفية على مرشح بكتري، وكانت تلك المواد طبيعية المنشأ كالفحم الخشبي وبقايا الفحم الحجري وغيرها، وتكون وحدات المرشحات الحيوية مملوءة بالمواد الحُبيبية ومبنية من مواد كتيمة كالإسمنت, وتكون في هيئة أسطوانية أو متوازي المستطيلات (ارتفاعها متران تقريبا)، ويبلغ مردود المرشح البكتري 66% تقريبا" عندما

تكون درجة تلوث المياه مرتفعة (DBO مرتفعة)، لذلك يمكن إعادة المياه المصفاة للمرشح ثانية" لرفع المردود، وأعطى Rankin العلاقة الآتية لترشيح مياه الصرف عندما تكون الحمولة الهيدرولية أقل من (1.15 م^3 / م$^{-2}$ سا):

$$L_f = L_0 / (2 r + 2)$$

في حالة السرير البكتري الواحد تكون العلاقة وفق الآتي:

$$L_{f1} = 0.5 L_0$$

أما في حالة السريرين البكتريين على التتالي تكون العلاقة كالآتي:

$$L_{f2} = L_{f1} / (2 r + 2)$$

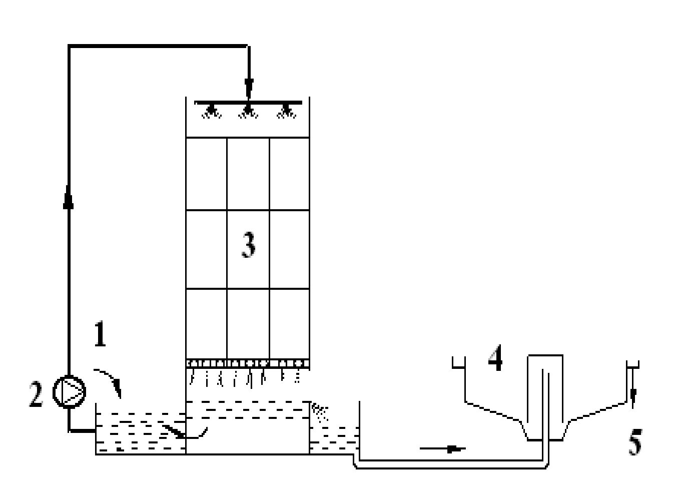
حيث r معدل الجريان المضاعف، ويجب أن تكون المواد المستعملة كحامل للشريحة البكترية نظيفة وثابتة وتتحصر أبعاد حبيباتها بين 40 إلى 80 مم.
ووفقا" للحمولة الحجمية المطبقة، يمكن التمييز بين سرير بكتري ذي حمولة ضعيفة وسرير ذي حمولة عالية، وبالتالي فإن شروط عمل تلك الأسرّة لمياه الصرف الحضرية هي كالآتي:

	الحمولة الحجمية الضعيفة	الحمولة الحجمية العالية
DBO (كغ / م^3. يوم) مياه صرف حضرية	0.15 – 0.08	0.8 – 0.7
حمولة هيدرولية (م ^{3}/ م^2. ساعة)	أقل من 0.4	أكبر من 0.7

- **المواد البلاستيكية:**

ظهر استعمال المواد البلاستيكية في السرير البكتري أول مرة في عام 1960، ومنذ ذلك التاريخ تطورت تلك الطريقة على نطاق واسع وسريع نتيجة تميزها بفعالية عالية ولعدم تأثرها بالطمي المترسب في أثناء عملية التصفية الحيوية على المرشح البكتري، ونظرا" لكون المردود مرتبطا" بارتفاع المرشح البكتري (علاقة 3), فإنه يمكن زيادة ارتفاع المرشح البكتري المليء بالبلاستيك إلى 7 أمتار، مما يجعل هذا النوع من المرشحات قادرا" على تصفية المياه شديدة التلوث وذات الحمولة الهيدرولية العالية (1.5 – 3 م^3 / م^2. سا).

ويعاد جريان قسم من الماء المصفى على المرشح مرة ثانية للحفاظ على درجة التمديد العملية, ولتفادي حصول توقف في جريان المياه على المرشح في أثناء توقف جريان مياه الصرف، وتستعمل الأسرّة البكترية المملوءة بالبلاستيك عادة دون الحاجة لمرقد أولي قبل المرشح، ولذلك يوضع المرقّد بعد المرشح فقط (الشكل 6 – 11)، وتتمتع المواد البلاستيكية المستعملة بسطح نوعي مرتفع (90 إلى 300 م^2 / م^3) وتحتل الفراغات 95% من الحجم الكلي للطبقة.



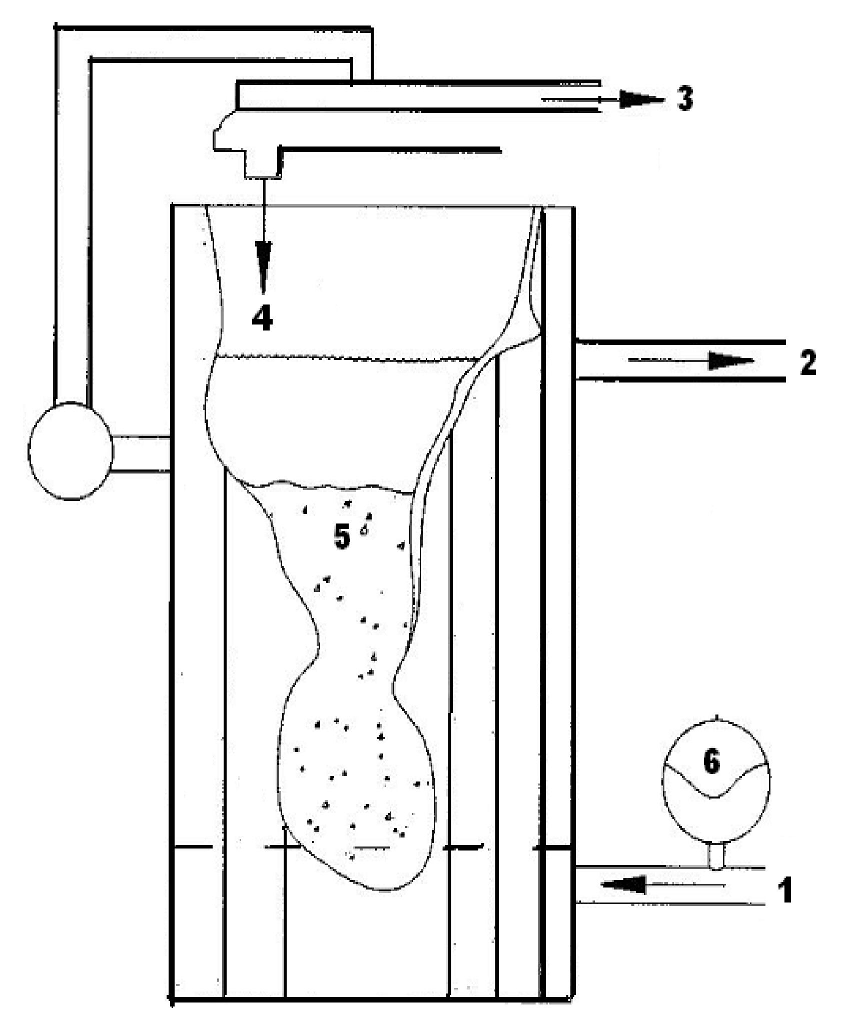
1 – المياه الخام، 2 – مضخة، 3 – مرشح بكتري ، 4 – المرقد ، 5 – المياه المعالجة

الشكل 6 – 11: مرشح بكتري متبوع بمرقد.

ج) الأنواع المختلفة للأسرّة البكترية:

1 – الأسرّة البكترية المتحركة:

تثبت البكتريا على حُبيبات خفيفة الوزن، مما يسمح لتيار الماء بجعلها معلقة داخل حوض التصفية، ويُستعمل لهذه الغاية رمل أو فحم منشط أبعاد حُبيباته أقل من (1 مم)، ويتراوح ارتفاع الحوض بين 6 إلى 8 أمتار، ويوضح الشكل (6 – 12) مخططا" لطريقة الأسّرة البكترية المتحركة.



1- دخول المياه الخام ، 2 – خروج المياه المعالجة، 3 – طرح الحمأة المنشطة الزائدة، 4– الرمل العائد، 5 – السرير المتحرك، 6 – مضخة هواء.

الشكل 6 – 12: الأسرّة البكترية المتحركة.

وأهم مواصفات الأسرّة البكترية المتحركة وجود سرعة عالية لدخول الماء، تسمح بوضع الحُبيبات الحاملة للسرير البكتري على صورة معلق، حيث تكون سرعة التدفق للمياه بين 18 إلى 40 م / ساعة، وإذا كانت الحبيبات من الفحم فإن قطرها ينحصر بين 0.4 مم و 1.7 مم، وسرعة دخول الماء السطحية نحو 18 م / ساعة، أما إذا كان الحامل من الرمل فإن قطر الحبيبات ينحصر بين 0.4 مم إلى 1.5 مم وسرعة دخول الماء السطحية حوالي 40 م / الساعة.

2 – الأسرّة البكترية الثابتة:

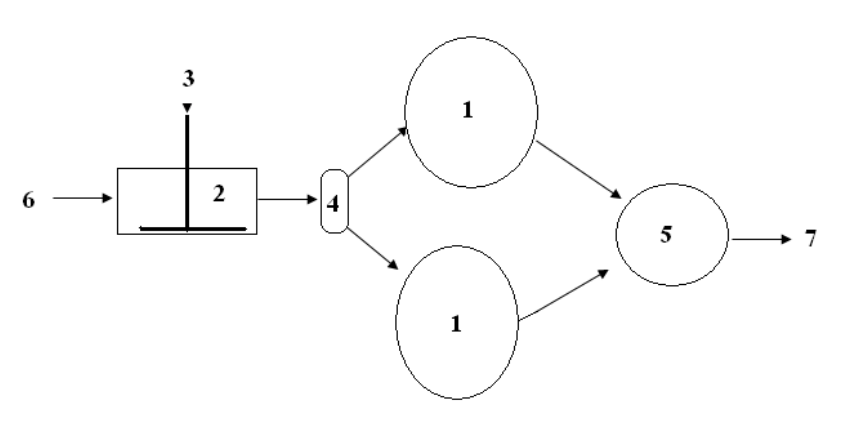
هناك تقنيات متعددة لاستعمال الأسرة البكترية الثابتة، نذكر منها:

- المرشحات البكترية الترتيبية والمختلفة الأبعاد:

يتطلب هذا النوع من المرشحات وضع مرقد صغير بين المرشح الأول والمرشح الأخير، ويكون المرشح الأول أصغر من الأخير بنسبة واحد إلى ستة، مما يسمح بالحصول على مردود مرتفع، ويتمتع هذا النوع من المرشحات البكترية بقدرة على معالجة مياه ذات حمولة عالية من الملوثات العضوية.

- المرشحات البكترية المتناوبة والمتساوية الأبعاد:

تحتوي المنشأة على مرشحين متساويين في أبعادهما، وهناك نظام يعكس اتجاه مياه الصرف، حيث تمر خلال فترة من الزمن على المرشح الأول بالبداية، وفي فترة زمنية أخرى يدخل الماء على المرشح الثاني قبل مروره على الأول، ويحدث ذلك مرة كل أسبوعين تقريبا". ينشط المرشح باتجاه معاكس لاتجاه مياه الصرف كلما انخفضت فعاليته في أثناء عمل المرشح الأخر، ولذلك يتمتع هذا النظام بمردود مرتفع جدا"، ويوضح الشكل (6 – 13) مخططا" لمنشأة مؤلفة من مرشحين متناوبين.



1 – مرشح بكتري، 2 – حوض تهوية وتجانس لمياه الصرف، 3 –هواء، 4 – مضخات، 5 – مرقد، 6– ماء خام، 7 – مياه معالجة.

الشكل 6 – 13: منشأة مؤلفة من مرشحين متناوبين.

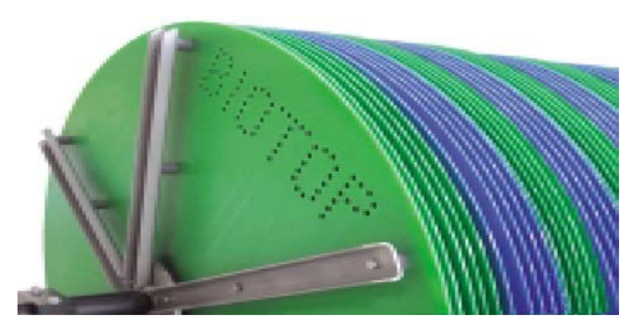
- المرشحات البكترية المغمورة:

• الأقراص الدائرة:

تتكون المرشحات البكترية من أقراص تحمل على سطحها الشريحة الحيوية، ويتراوح قطرها بين مترين إلى 3 أمتار، ويبتعد القرص عن الآخر بمقدار 2 سم، ومحمولة على محور أفقي يسمح بالدوران (الشكل 6 – 14)، عندما يكون نصف القرص السفلي مغمورا" في مياه حوض

المعالجة، يكون القسم العلوي معرضا" للهواء ليحصل على الأكسجين اللازم لعمليات التحلل الحيوي، وتمتلك المرشحات المغمورة ميزات كثيرة أهمها:

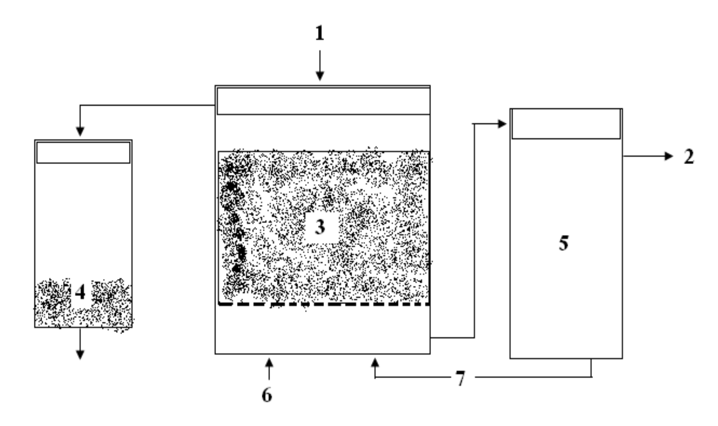
- يتطلب قليلا" من الصيانة.
- يعمل دون ضغط خلفي (Perte de Charge).
- يتطلب 2 كيلو واط ساعي إلى 7 كيلو واط ساعي من الطاقة لمعالجة مخلفات الشخص الواحد سنويا".



الشكل 6 – 14: صورة للأقراص الدائرة والمصنعة من اللدائن العضوية.

• الطبقة الثابتة:

يحتوي المرشح طبقة من المواد الحاملة للسرير البكتري (حُبيبية أو بلاستيكية) موضوعة في حوض كبير، يدخله الماء من الأعلى أو الأسفل تبعا للتقنية المستخدمة، كما ويتم إدخال الهواء من الأسفل دائما"، ويوضح الشكل (6 – 15) مخططا" لمرشح بكتري يدخله الماء من الأعلى.



1 – ماء خام، 2 – ماء معالج 3 – سرير بكتري، 4 – حمأة زائدة، 5 – خزان ماء معالج، 6 – هواء ، 7 – ماء لغسيل المرشح.

الشكل 6 – 15: مخطط لمرشح بكتري يحتوي سريرا" مغمورا" ضمن الماء .

د) الميزات الأساسية للمرشحات البكترية:

تتمتع طريقة المرشح البكتري بميزات عديدة تجعلها في حالات كثيرة الطريقة الأفضل للتصفية، من أهم تلك الميزات:

- تبدأ فعاليتها بسرعة (عدد من الساعات).
- لا تحدث عملية إذابة للطبقة البكترية في الماء لأنها مثبتة على حامل.
- تتمتع المادة الفعالة بتركيز أعلى مما هي عليه في الطرائق الأخرى (10 إلى 20 مرة أعلى من طريقة الحمأة المنشطة).
- مردود مرتفع حتى 90% من DCO و 95% من MES لمياه الصرف المنزلية .
- لاحاجة لإنشاء حوض للترسيب بعد عملية الترشيح البكتري.

يعطي الجدول (6 – 12) نتائج عملية للمرشح البكتري الثابت أمكن الحصول عليها من محطتين للمعالجة هما:

– محطة تصفية مياه الصرف لمصنع الجعة (Brasserie)
– محطة تصفية لمياه الصرف لمصنع عطورات

الجدول 6 – 12: نتائج تحليل الترشيح البكتري لمعالجة مياه الصرف لنوعين مختلفين من الصناعات الكيميائية.

نوع الصناعة	المقياس	المياه الداخلة (مغ / لتر)	المياه الخارجة (مغ / لتر)	المردود %
مصنع الجعة	DCO	2300	65	97
	DBO_5	1500	25	98.5
مصنع العطر	DCO	4000	300	92.5
	DBO_5	2200	25	98.9

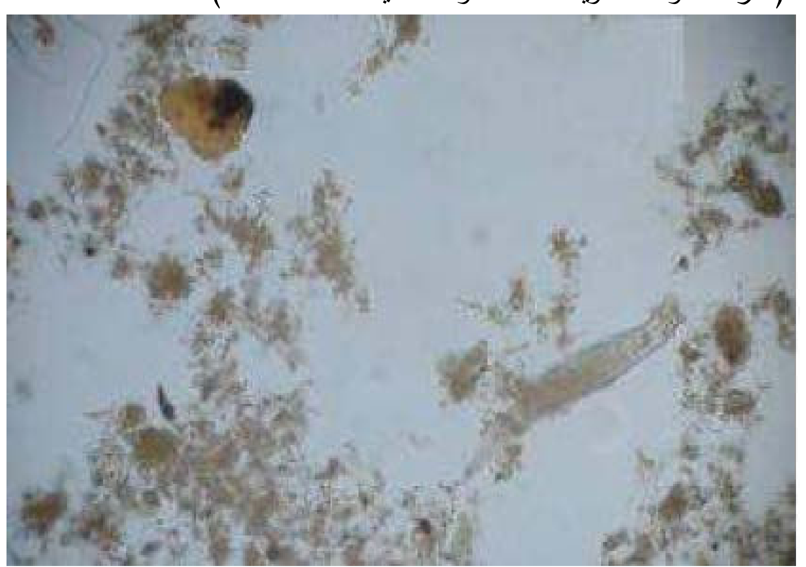
يلاحظ من خلال معطيات الجدول أعلاه، الفعالية العالية لنظام المرشح البكتري في تصفية مياه الصرف الصناعية.

6. 4. 2 طريقة أحواض التهوية أو الحمأة المنشطة:

تعدّ عملية التصفية باستعمال أحواض التهوية (الحمأة المنشطة) مشابهة لعملية التنقية الذاتية (Autoépuration) التي تحدث في المياه الطبيعية السطحية، ولكن الشروط المطبقة في حوض التهوية تزيد من سرعة تلك التحولات بوساطة التراكيز العالية للبكتريا من جهة، وتأمين الأكسجين اللازم للأكسدة الحيوية من جهة أخرى. تعتمد طريقة التصفية باستعمال الحمأة المنشطة على تكاثر البكتريا المنتشرة في كتلة الحمأة المنشطة، والمعلقة ضمن حوض يدخله ماء

الصرف المراد معالجته والهواء باستمرار، مع تحريك دائم لإحداث حالة تجانس بين الحمأة المنشطة ومياه الصرف، إضافة إلى تجنب الترسب لكتلة الحمأة.

تكون الحمأة في هيئة كتل هلامية محمولة ضمن الماء، وتشبه تلك الكتل الشرائح الحيوية المثبتة على المرشحات البكترية (الشكل 6 – 16)، وتحدث عملية امتزاز للعناصر المنحلة والعناصر الغروية في مياه الصرف على سطح كتل الحمأة المنشطة، مما يسمح للبكتريا باستهلاكها كغذاء عند تكاثرها، وتحول البكتريا تلك المركبات الكيميائية المعقدة إلى مواد كيميائية بسيطة تطرحها في الماء (غازات، مواد عضوية منحلة، مواد معدنية منحلة،....،...).



الشكل 6 – 16: صورة مجهرية للحمأة المنشطة.

يجب الحفاظ على تلك الكتل المتكونة معلقة ضمن السائل، إما بفعل ميكانيكي أو بضخ الهواء من الأسفل، أو باستعمال التقنيتين معا"، ينحل أكسجين الهواء في الماء للحفاظ على تركيز مرتفع، لأن انخفاض كمية الأكسجين المنحل إلى أقل من (1 مغ / لتر) يؤدي إلى توقف عملية التحولات الحيوية الهوائية وظهور التحولات الحيوية اللاهوائية، ويحدد زمن التماس بين الحمأة المنشطة ومياه الصرف تبعا" لحمولة تلك المياه بالملوثات، ويقاد الماء الخارج من الحوض إلى مروّق (Clarificateur)، ويسمى أيضا" بالمرقد الثانوي، بهدف فصل الماء عن الحمأة التي يعاد جزء منها إلى حوض المعالجة للمحافظة على تركيزٍ عالٍ من البكتريا في حوض التهوية، ويذهب الجزء الآخر الزائد من الحمأة إلى جهاز خاص لمعالجة الحمأة وتحويلها إلى سماد زراعي عضوي.

آ) مواصفات المفاعل الحيوي:

لنفرض أن كتلة قدرها (Sa) من الأحياء الدقيقة قد حللت كمية من المواد العضوية قدرها (Le) في وسط هوائي، ونظرا" لاستحالة قياس الكمية (Sa) تجريبيا"، يعوض عنها بكتلة المواد القابلة للتبخر (Sv) من الحمأة، أو بكتلة الحمأة الكلية المعدنية والعضوية (St).
تحسب الكمية النظرية اللازمة من الأكسجين(المستهلكة) لإحداث عملية التكاثر للبكتريا والأكسدة للمركبات العضوية من العلاقة:

$$O_2 \text{ (مستهلك)} = a' \ Le + b' \ Sv \qquad (1)$$

وتحدد قيمة الثوابت a' و b' باستعمال جهاز (Warburg)، يمكن إعطاء قيمة الكتلة الحيوية الناتجة عن تلك التحولات (Sv △) بالعلاقة الآتية:

$$\triangle \ Sv = a_m \ Le - b \ Sv \qquad (2)$$

حيث تمثل (Sv) كتلة المواد العضوية مقدرة بالكيلوغرام في الحمأة الكلية المتوضعة في الحوض الهوائي(المفاعل)، أما(Sv △)فإنها ترمز إلى كمية الحمأة الناتجة عن التحولات الحادثة مقدرة بالكيلوغرام يوميا"، بينما (Le) فإنها ترمز إلى قيمة (DBO_5) المزالة مقدرة بالكيلوغرام يوميا".
وبتقسيم العلاقة (2) على Sv نحصل على العلاقة (3).

$$\Delta S_v / S_v = a_m (L_e / S_v) - b \qquad (3)$$

وتستعمل هذه العلاقة لحساب قيمة كل من a_m و b.
تعطي العلاقات السابقة كمية الحمأة المتكونة نتيجة التكاثر واستهلاك المواد العضوية المتحللة، ولذلك يجب إضافة كمية المواد المعلقة (معدنية أو عضوية) غير الفعالة والموجودة أصلا" في المياه المغذية لحوض التهوية، للحصول على الزيادة الكلية في كمية المواد المعلقة.
تعبر الحمولة الكتلوية أو معامل الحمولة (C_m) عن النسبة بين كتلة المواد العضوية القابلة للتحلل (DBO_5 أو المواد الطيارة) والتي تدخل حوض التهوية يوميا" (Lo) وبين كمية الحمأة (St) في حوض التهوية:

$$C_m = Lo / St \qquad (4)$$

ولكن كمية الحمأة (St) تحتوي مركبات قابلة للتبخر بالحرارة، وتعطى كميتها بالرمز (S)، ولنكون أقرب إلى الواقع العملي يمكن إعطاء مفهوم آخر للحمولة الكتلوية (C_m') بدلالة تلك المركبات، فإذا افترضنا أن الحمأة تحوي X% من تلك المواد القابلة للتبخر فإن:

$$Sv = x . St \qquad (5)$$

$$C_m' = Lo / Sv = Lo / x . St = C_m / x \qquad (6)$$

علما أن الأكثر استعمالا" في المجال التطبيقي هي (C_m).
أما الحمولة الحجمية (Cv) فإنها تمثل نسبة المواد القابلة للتحلل (Lo) والداخلة يوميا" في حوض التهوية لواحدة الحجم من حوض حجمه (V).

$$Cv = Lo / V \qquad (7)$$

وتكون وحدة القياس للحمولة الحجمية (Cv) هي الكيلوغرام على المتر الكعب يوميا"(كغ / م^3 . يوم).
يمكن أن يعبر عن المردود (y) بنسبة (DBO_5) للمياه الخارجة من الحوض إلى (DBO_5) للمياه الداخلة للحوض:

$$y = \frac{DBO_5 \text{ للمياه الخارجة من الحوض}}{DBO_5 \text{ للمياه الداخلة إلى الحوض}} = \frac{Le}{Lo} \qquad (8)$$

ويمكن التعبير عن المردود بدلالة الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) أو الكربون العضوي الكلي (COT) أو غيرها من المقاييس الأخرى للتلوث العضوي.
أما الأكسجين المستهلك خلال عملية التحولات الحيوية فيجري قياسه بوساطة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO_5)، حيث يشكل التغير الحادث في قيمة (DBO_5) بين المياه الداخلة والمياه الخارجة من الحوض كمية الأكسجين المستهلكة (**O_2**) وبالتالي يمكن استنتاج العلاقتين (9 و 10) من مجمل العلاقات السابقة:

$$\text{(مستهلك)}\ O_2 / Le = a' + (b' / y . C_m) \qquad (9)$$

$$\Delta S_v / Le = a - (b / y . C_m) \qquad (10)$$

تعطي تلك العلاقات المردود بدلالة مقاييس تجريبية.

ويمثل عمر الحمأة (A)النسبة بين الحمأة التي في المفاعل إلى الكتلة الزائدة (المتولدة) يوميا"من الحمأة:

$$A = \mathbf{St} / \Delta\, \mathbf{St} = \mathbf{Sv} / \Delta \mathbf{S_v}$$

- **الحاجة للمواد المغذية:**

تتطلب الأحياء الدقيقة تغذية متوازنة، ويعطى للخلايا الحية المصنعة الصيغة الآتية: {85}

$$C_{106}\, H_{180}\, O_{45}\, N_{16}\, P$$

إذا" فإن الآزوت والفُسفور هما عنصران أساسيان للتغذية، وفي حالة مياه الصرف الحضرية فإنها تحتوي مواد مغذية متوازنة بالنسبة للأحياء الدقيقة، أما مياه الصرف الصناعية فتكون عادة فقيرة بالآزوت والفُسفور، ولذلك يجب إضافة تلك العناصر للحصول على فعالية جيدة في المعالجة الحيوية.

- **تأثير درجة الحرارة:**

إن تغيرات درجة الحرارة تؤثر على العملية الحيوية، فارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة التفاعلات الإنزيمية، ولكن ذلك الارتفاع في درجة الحرارة يخفض من كمية الأكسجين المنحل بالماء واللازم للعملية الحيوية الهوائية.

- **تصنيف أحواض التهوية بدلالة حمولتها:**

تصنف أحواض التهوية بدلالة حمولتها إلى أربعة أصناف رئيسية، ويعطي الجدول (6 –13) مجالات عمل كل صنف منها.

الجدول 6 – 13: أصناف أحواض التهوية.

صنف الحوض	C_m (كيلوغرام من DBO_5 يوميا"ومن أجل واحد كيلوغرام من الحمأة)	Cv (كيلو غرام من DBO_5 يوميا"ومن أجل واحد متر مكعب من حوض التهوية)
حمولة عالية	أكبر من 0.5	أكبر من 1.5
حمولة متوسطة	0.5 – 0.2	1.5 – 0.6
حمولة ضعيفة	0.2 – 0.07	0.6 – 0.35
حمولة ضعيفة جدا" (التهوية المطولة)	أصغر من 0.07	أصغر من 0.35

تحدث عملية النترجة (تحول الآزوت العضوي وآزوت الأمونيا إلى نترات) في حالة كون (C_m) أقل من 0.1 وقد تصل إلى 0.4 وذلك تبعا" لقيمة pH الوسط.

تعطي أحواض التهوية مردودا" عاليا" في التخلص من التلوث العضوي مقاسا" بدلالة التغير في قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين، غير أن المردود يرتبط بعوامل كثيرة أهمها:

- نوعية مياه الصرف (حضرية أم صناعية)
- درجة الحرارة
- الحمولة في الحوض

إذا افترضنا أن مياه الصرف لا تحتوي إلا المخلفات البشرية، وأن درجة تلوثها متوسطة ($300 < DBO_5 < 150$ مغ / لتر)، فإن أحواض التهوية تعطي قيما" مختلفة للمردود من أجل الأنواع المختلفة من الأحواض:

- يعطي حوض التهوية المطولة بحدود 95%.
- يعطي حوض التهوية متوسط الحمولة بحدود 90%.
- يعطي حوض التهوية عالي الحمولة أقل من 85%.

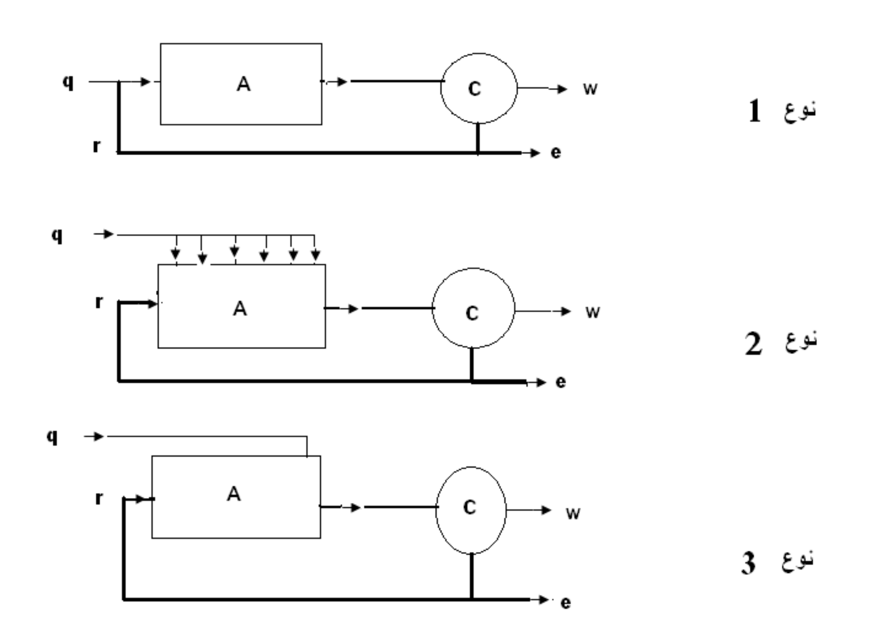
ب) أنواع أحواض التهوية:

1- نظام الأحواض المنفصلة:

تجري عملية التهوية وعملية الترويق ضمن حوضين منفصلين، مما يتطلب إعادة الحمأة بالضخ من المروق إلى حوض التهوية (الشكل 6 – 18 نوع 1)، ويعتمد هذا النظام القديم على ضخ الماء والحمأة معا" في حوض التهوية، ويتمتع بميزات عديدة من أهمها إعطاء مياه مصفاة جيدا" مع مردود مقبول لعملية النترجة، غير أن أهم مساوئه استهلاكه المرتفع للأكسجين عند مدخل الحوض، مما دعا العاملين في هذا المجال لتحسين تلك الطريقة بإحداث نظم الطوابق العديدة لحوض التهوية، حيث يدخل ماء الصرف من أعلى الحوض، ويكون موزعا" على أجزاء مختلفة تمزج مع الهواء قبل دخولها إلى الحوض، بينما تدخل الحمأة العائدة من المروق إلى حوض التهوية وقد أشبعت بالهواء قبل تماسها مع مياه الصرف المراد معالجتها (الشكل 6 – 17 نوع 2).

وهناك نوع ثالث يعتمد على السماح للحمأة بالنمو قبل تلامسها مع المياه المراد معالجتها، ويجري ذلك بإدخال الحمأة في بداية الحوض بينما تدخل مياه الصرف في القسم الأخير منه مما يجعل زمن التماس قصيرا"، ويحدث في هذه الحالة إزالة الملوثات العضوية بالامتصاص على كتل الحمأة أو بالامتزاز عليها (الشكل 6 – 17 نوع 3)، وتستعمل الطريقة الأخيرة

لمعالجة المياه ذات الحمولة المتوسطة من المواد العضوية وتسمى الامتصاص الحيوي (Biosorption).



A– حوض التهوية، c – مرقد (مروق)، q- المياه الخام ، r – الحمأة المعادة لحوض التهوية
e – الحمأة الزائدة ، w - الماء المصفى

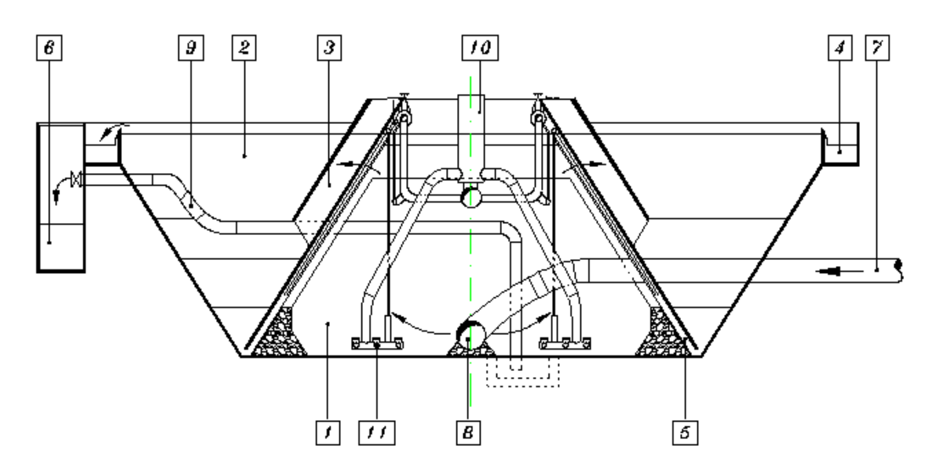
الشكل 6 – 17: تصفية مياه الصرف بوساطة حوض التهوية مع وجود مرقد ونُظُم مختلفة لإدخال الماء إلى الحوض.

2– نظام الأكسدة السريعة (Oxyrapid):

يتمتع نظام الأكسدة السريعة بإجراء عملية التهوية والترويق في حوض واحد، مما يخفض الكلفة ويزيد المردود، وتستعمل هذه الطريقة في محطات المعالجة لمياه صرف المدن الكبيرة (50 إلى 250 ألف نسمة).

ولتلك الأحواض نوعان:

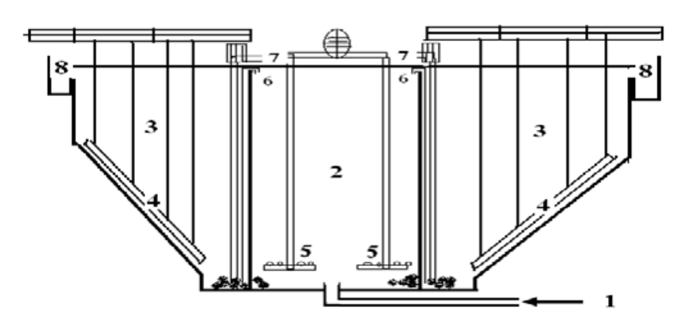
- حوض الأكسدة السريعة من نوع (Oxyrapid - Type S)، حيث تكون منطقة الترويق مؤلفة من حواجز مائلة لزيادة سرعة الترسيب (الشكل 6 – 18).



1– منطقة التهوية، 2– منطقة الترويق، 3– مجرى التغذية، 4– الماء المعالج، 5– مجرى تدوير الحمآة، 6– الحمأة الزائدة، 7– مدخل الماء الخام، 8– ماء معالج، 9– أنبوب سحب الحمأة الزائدة، 10 – هواء، 11– نافث هواء.

الشكل 6 – 18: حوض الأكسدة السريعة (Oxyrapid - Type S) المتضمن منطقة للتهوية ومنطقة للترقيد داخل الحوض ويفصل بينهما حواجز مائلة{33}.

- حوض الأكسدة السريعة من نوع R (Raclé)، يستعمل هذا الحوض لمعالجة مياه الصرف ذات الحمولة الضعيفة،ويتمتع بسطح تصفية أعلى من الحوض من نوع S **(الشكل 6 – 19)**.



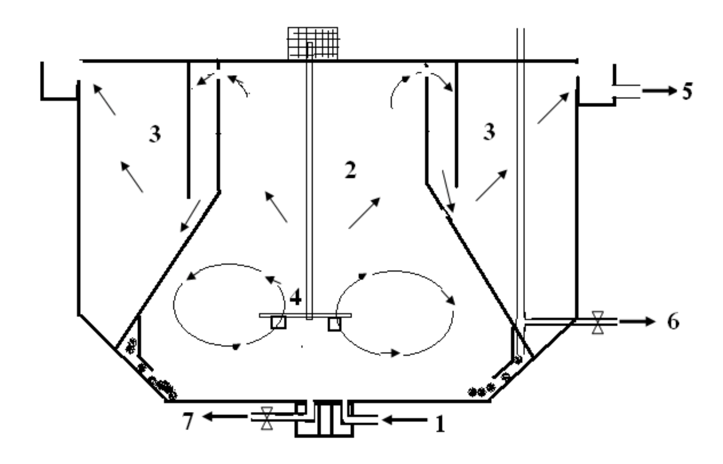
1– دخول الماء الخام، 2– منطقة التهوية، 3– منطقة الترويق، 4 – نظام جرف آلي، 5 – الهواء، 6 – الحمأة الراجعة، 7 – سحب الحمأة الزائدة، 8– الماء المعالج.

الشكل 6 – 19: حوض التهوية من نوع R المتضمن نظاما" ميكانيكيا" لجرف الحمأة{33}.

تتراوح أبعاد أحواض الأكسدة السريعة بنوعيها بين 10 إلى 120 مترا" وعمق بين 4 إلى 4.5 مترا".

3- نظام التسريع الهوائي:

يتمتع هذا النظام بوجود منطقة مركزية للتهوية السريعة، ومنطقة خارجية للترويق، بينما يحدث انتقال الحمأة من منطقة لأخرى، وإخراج الحمأة الزائدة بتأثير الجاذبية وليس باستعمال مضخات، تستعمل في هذه الأنواع من الأحواض نظم تهوية خاصة تتمتع بضغط مرتفع لإحداث حركة قوية ضمن السائل (الشكل 6 – 20).

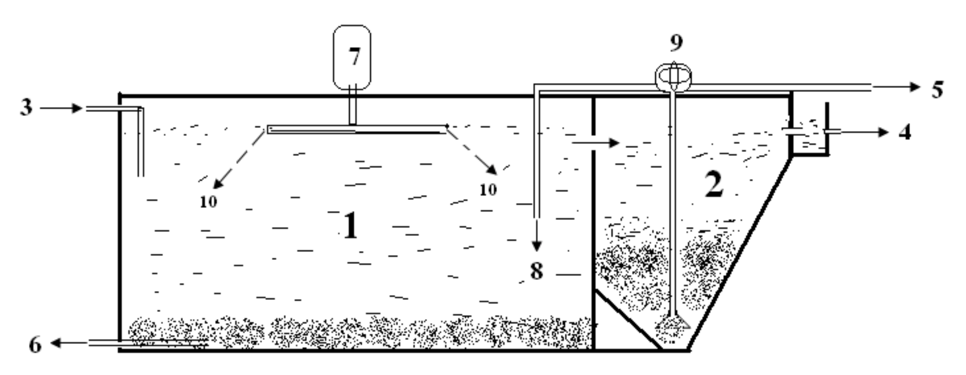


1- دخول الماء الخام، 2- منطقة تهوية،3 – منطقة ترويق،4 – مهوية، 5- ماء معالج،6 – حمأة زائدة، 7- فتحة تنظيف.

الشكل 6 – 20: نظام التسريع الهوائي.

4 – حوض التهوية المطولة:

وضعت هذه الطريقة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن التجمعات السكنية الصغيرة (2000 نسمة) وكذلك للمخلفات السائلة الناتجة عن بعض الصناعات (صناعة الحليب ومشتقاته). ولا تحتاج هذه الطريقة إلى مراقبة مكثفة وتعطي مردودا" جيدا" ومضمونا"، حيث يصل استهلاك الأكسجين إلى 280 مترا" مكعبا" من الأكسجين لكل كيلو غرام واحد من (DBO_5). غير أن هذه الطريقة تحتاج عموما" إلى أحواض كبيرة الحجم، ويعطي الشكل (6 – 21) مخططا" لحوض التهوية المطولة مرفقا" به حوض الترقيد ونظام تهوية سطحية.



1- حوض التهوية المطولة، 2- حوض الترقيد، 3- دخول ماء الصرف، 4- خروج الماء المعالج، 5 - خروج الحمأة، 6- خروج الحمأة الزائدة من حوض التهوية، 7- مهوية سطحية، 8- الحمأة العائدة لحوض التهوية، 9- مضخة سحب الحمأة من حوض الترقيد، 10- التهوية السطحية.

الشكل 6 – 21: معالجة مياه الصرف بحوض التهوية المطولة.

يدخل الماء الخام إلى حوض الأكسدة حيث يمزج مع الهواء والحمأة العائدة من حوض الترويق، وتؤمّن عملية التحريك والتهوية بوساطة جهاز مثبت على سطح الحوض، حيث تكون التهوية سطحية، يخرج الماء من حوض الأكسدة إلى حوض الترويق ضمن فوهة تسمح للمياه بالمرور وتمنع الحمأة من عبورها، وهناك مضخة لإعادة الحمأة من حوض الترويق إلى حوض الأكسدة.
إن عملية المعالجة الحيوية في حوض التهوية هي المرحلة الأساسية والمهمة من تصفية مياه الصرف، غير أنه على الغالب يضاف إليها مراحل مكملة تسبقها أو تليها، تبعا" لنوعية المياه الخام المراد معالجتها وكذلك المواصفات المطلوبة للماء المعالج.

- المعالجة الأولية:

تشمل التخلص من المواد الصلبة المحمولة داخل مياه الصرف باستعمال شبك معدني يحجز خلفه الأحجار والأوراق والكتل الكبيرة المحمولة بالقوة الهيدرولية للماء، ويمكن التخلص من الجسيمات الأصغر كالرمل باستعمال حوض ترقيد أولي قادر أيضا على التخلص من نسبة لا بأس بها من المواد العضوية والمعدنية إذا كانت سرعة جريان المياه بطيئة داخل الحوض، ويمكن التخلص من الزيوت والشحوم الطافية على السطح ببناء حوض خاص بإزالتها.

- الترويق (الترقيد) النهائي:

تمثل عملية الترسيب النهائي التي تلي أحواض التهوية، وتتكون من أحواض خاصة ومنفصلة، جزءا" أساسيا" من عملية المعالجة بالحمأة المنشطة لا يمكن الاستغناء عنها، بسبب احتواء الماء الخارج من حوض التهوية على تراكيز عالية من المواد المعلقة، يعاد قسمٌ من الرواسب المتكونة في حوض الترويق إلى حوض التهوية لاحتوائه على الأحياء الدقيقة المؤكسدة، يعبّر عن فعالية

عملية الترقيد أو الترويق بقرينة الحمأة (Indice de Boues)، وهي نسبة كمية المواد القابلة للترقيد (مليلتر/ لتر) خلال نصف ساعة إلى وزن المواد المعلقة الكلية (غرام / لتر)، وعندما تكون قرينة الحمأة محصورة بين 50 و 100 تكون عملية الترقيد مقبولة .

6. 4. 3 تعقيم مياه الصرف المعالجة بالطرائق الحيوية:

تستعمل مواد مؤكسدة قوية مثل الأوزون أو الكلور للتخلص من البكتريا الممرضة، تجري عملية الكلورة في أحواض خاصة حيث يحدث التماس بين المياه الخارجة من حوض الترقيد النهائي والكلور مدة لا تقل عن 30 دقيقة، ومن المفضل أن تتراوح كمية الكلور المتبقية في الماء الخارج من حوض الكلورة بين 0.2 إلى 0.3 مغ / لتر، يؤدي ذلك إلى قتل 99.9% من الكوليفورم التي في مياه الصرف الحضرية.

6. 4. 4 طرائق معالجة الحمأة المنشطة:

تترسب المواد المعلقة المحمولة في الوسط المائي أو التي تكونت نتيجة إضافة المختثرات، وتسمى المواد المترسبة في حوض الترقيد بالحمأة (بالأوحال) وتشكل عادة 0.5 إلى 2% من الماء المعالج حجما"، تعالج الحمأة للتخلص من المواد الضارة داخلها، ولإنقاص حجمها بشكل كبير بعد إزالة الماء منها وتجفيفها.

تتميز الحمأة (الأوحال) بشكل عام بمواصفات معينة نذكر أهمها:

- تركيز المواد الجافة: يتراوح تركيز المواد الجافة في الحمأة بين 0.5 إلى 10% وزنا" من المياه الخارجة من حوض التهوية.
- تركيز المواد القابلة للتبخير (المواد العضوية): يعبّر عن تركيز المواد القابلة للتبخير بالنسبة المئوية لتلك المواد التي تكون ضمن الكتلة الجافة الناتجة عن الحمأة، وتعطي تلك النسبة معلومات عن القدرة الحرارية للحمأة.
- قابلية الحمأة للضغط.
- لزوجة الحمأة.
- قابلية الحمأة للترشيح والفصل بطريقة الطرد المركزي.

تعالج الحمأة لتخفيض حجمها، ولإزالة فعالية التخمر، أي تثبيتها. وتجرى عملية إيقاف التخمرات بإزالة المياه من الحمأة والتطهير الكيميائي لها.

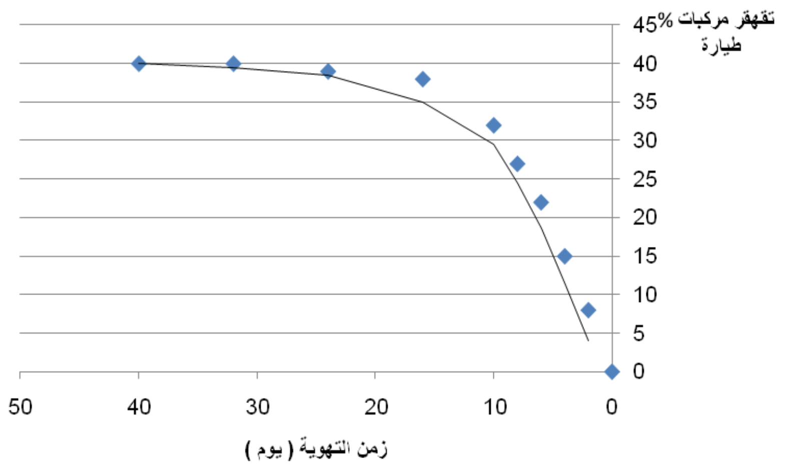
آ) تثبيت الحمأة المنشطة:

1 – التثبيت الهوائي:

تعتمد طريقة التثبيت الهوائي على تهوية الحمأة فترة طويلة، حيث تتكاثر الأحياء الدقيقة بسرعة وتؤكسد المركبات العضوية داخل كتلة الحمأة، وبذلك تحدث عملية التثبيت لها. وتجري عملية التهوية باستعمال الأكسجين أو الهواء في أحواض خاصة ومغذاة بالحمأة الخارجة من حوض المعالجة الحيوية، وتحدث في هذه المرحلة أكسدة المركبات العضوية المكونة للخلايا منتجة غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء والنشادر، ويتأكسد هذا الأخير بدوره ليعطي شوارد النترات، وبالتالي فإن الأكسدة تقود بالنهاية إلى انخفاض كبير في كتلة الأوحال، وتتأثر عملية التثبيت الهوائي بدرجة الحرارة، وتعدّ هذه الطريقة مناسبة لمعالجة الأوحال الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الحضرية، ويمكن تحديد فعالية عملية التثبيت بطرائق مختلفة منها:

- حساب معدل تنفس الحمأة إذ إن القيم الواقعة بين 0.1 إلى 0.15 كغ من الأكسجين لكل كيلوغرام من المواد العضوية يوميا" كحد أقصى تدل على تثبيت الحمأة.
- تهوية العينة مدة 120 ساعة مستمرة، وفي حالة كانت الخسارة في الوزن أقل من 10%، تعدَ الحمأة ثابتة.
- معدل التفكك الحيوي للمركبات العضوية: يوضح الشكل (6 – 22) تحولات قيمة التفكك الحيوي للمواد العضوية القابلة للتحلل بدلالة زمن التهوية خلال عملية تثبيت مزيج من الحمأة المنشطة والحمأة الحديثة (غير المنشطة).

وتحدث عملية التثبيت على المواد العضوية النشيطة في الحمأة بنسبة 40% إلى 45 % من الكتلة الكلية للحمأة، بينما تكون نسبة المواد العضوية الكلية بحدود 75%، علما" أن جزءا" من تلك المواد يتفكك حيويا"، يضاف إلى ذلك أن تفكك هذا الجزء يترك خلفه رواسب بنسبة 25% من الكتلة الأساسية القابلة للتحلل، وتؤدي عملية التثبيت للحمأة إلى اختفاء 30% إلى 40% من المواد القابلة للتبخر (الطيارة) وهذا ما يظهر على المنحني البياني في الشكل (6 – 22).



الشكل 6 – 22: تفكك المواد العضوية القابلة للتبخر بدلالة زمن التهوية (15º م).

تتعلق عملية تصميم وحدة تثبيت الحمأة بالظروف المناخية للمنطقة (درجة الحرارة، سرعة الرياح، الرطوبة،...،...،... .)، ونذكر على سبيل المثال أن انخفاض درجة الحرارة من 20ºم إلى 12ºم يخفض نسبة التفكك للمركبات العضوية القابلة للتبخر من 40% إلى 30% ضمن الشروط الأخرى نفسها، وتتعلق بتركيبة الحمأة، فعلى سبيل المثال تحتاج الحمأة المنشطة إلى 12 يوما" لإتمام عملية التثبيت، بينما يزيد خلطها مع حمأة غير منشطة من زمن التثبيت. يؤثر في عملية التثبيت أيضا" معامل الحمولة الحجمية من المواد المعلقة القابلة للتطاير المعبر عنها بالكيلوغرام من (MVS) للمتر المكعب من حجم الحوض يوميا"، وللحصول على تثبيت جيد للحمأة يجب ألا تتجاوز قيمة الحمولة الحجمية من المواد المعلقة القابلة للتطاير 2 كيلوغراما" (2 كغ من MVS / يوم. م^{3}) من أجل الحمأة المنشطة و 3 إلى 4 كغ من أجل مزيج من الحمأة المنشطة والحمأة الحديثة (غير منشطة). أما نظام التهوية فيجب أن يؤمن الأكسجين اللازم للعملية الحيوية، إضافة إلى إحداث حالة حركة ضمن المزيج.

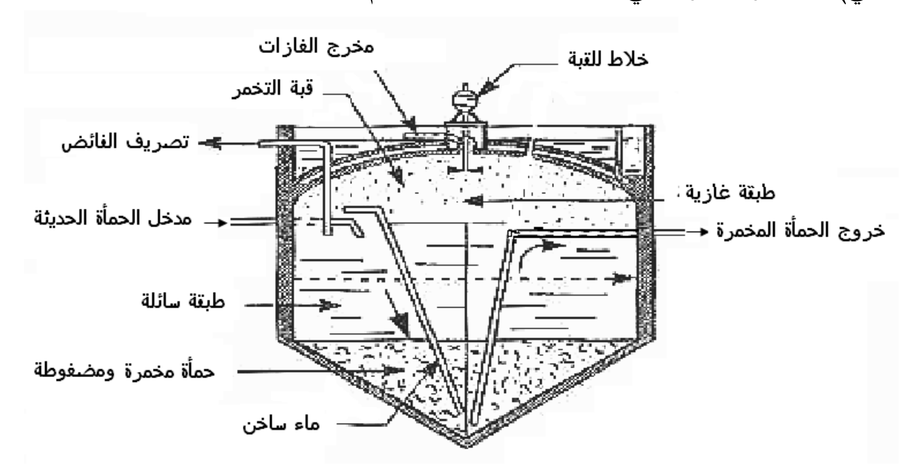
إن حاجة البكتريا من الأكسجين تعادل 0.1 كغ من الأكسجين لكل كغ من (MVS) يوميا"، ولكن يجب الأخذ بالحسبان أن معامل الانتقال للأكسجين داخل الحمأة ضعيف مقارنة بالماء الصافي، ولذلك يجب أن يؤمّن الهواء عملية تحريك شديدة داخل الجملة لرفع معامل الانتقال للأكسجين، ويطبق عادة معدل 5 إلى 6 أمتار مكعبة من الهواء لكل متر مربع من سطح الحوض في الساعة.

تستهلك هذه الطريقة كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية، حيث يلزم 150 إلى 300 واط ساعي لكل كيلو غرام من الحمأة المجففة، تخرج الحمأة المعالجة من حوض التثبيت بهيئة مائع أسمر

قليل الرائحة، تظل الحمأة عادة نحو 10 أيام ضمن حوض التثبيت الهوائي، وتفقد 30%–35% من المواد العضوية القابلة للتبخير.

2 – التخمر اللاهوائي:

تجري عملية التخمر اللاهوائي ضمن حوض مغلق لا يدخله الهواء ويسمى المخمّر أو الهاضم، تمتلك عملية التخمر الميتاني قدرة عالية على تفكيك الجزيئات العضوية وتحويلها إلى غازات بسيطة كالميتان وبخار الماء، تتجاوز تكاليف بناء الهاضم مثيلتها بطريقة التثبيت الهوائي على نحو كبير، وهذا أهم مساوئ تلك الطريقة، كما أنها حساسة جدا" لتغيرات قيم pH الوسط أو الحمولة العضوية أو درجة الحرارة، ويعطي الشكل (6 – 23) مخططا" للهاضم (المخمر اللاهوائي) والمجهز بمحرك آلي لقبة الحمأة، وكذلك بنظام تسخين بالماء الساخن.



الشكل 6 – 23: مخطط الهاضم المجهز بمحرك لقبة الحمأة وتسخين بالماء الساخن.

يسمح التخمر اللاهوائي بإزالة قسم كبير من المواد العضوية المعلقة والمنحلة في مياه المجارير العامة، وُيلاحظ أن حجم الحمأة المتبقية بعد عملية التخمر اللاهوائي أقل بثلاث مرات من التثبيت الهوائي للحمأة الناتجة عن المجاري العامة، وهذه إحدى إيجابيات الطريقة.

تؤدي عملية التخمر اللاهوائي إلى تحطيم كامل للبكتريا الممرضة، وتعطى نسبة إرجاع للمركبات العضوية الطيارة بالعلاقة الآتية:

$$x = 1 - \frac{m_1 \ (100 - m_2)}{m_2 \ (100 - m_1)}$$

حيث ترمز m_1 إلى النسبة المئوية للمركبات المعدنية في الحمأة قبل المعالجة، وm_2 إلى النسبة المئوية للمركبات المعدنية في الحمأة بعد المعالجة. وتصل نسبة الإرجاع (x) إلى 50% أحيانا".

تتميز عملية التخمر اللاهوائي باحتوائها على طورين مختلفين هما:

- طور سائل أو الطور الحمضي الحاوي على البكتريا المنتجة للحموض الطيارة.
- طور غازي يحتوي البكتريا الميتانية (Bactérie Méthanique) التي تحول الحموض والكحول الناتجين في المرحلة الأولى (في الطور السائل) إلى غاز الميتان.

يحتوي حوض التخمرات اللاهوائية على النوعين السابقين من البكتريا، حيث تعدل عمليات التخمر المنتجة للميتان في الطور الثاني الحموضة الناتجة في الطور الأول، وبالتالي يكون الوسط معتدلا" (pH = 6. 8 - 7. 8).

تحتوي الغازات الناتجة عن عملية التخمر اللاهوائي 65% إلى 70% من حجمها غاز الميتان. وتتأثر عملية التخمر بدرجة الحرارة، حيث تتوقف في درجة أقل من 11°م، وتعطي المردود الجيد في الدرجة 35°م، مما يجعل عملية التسخين ضرورية في البيئة الباردة، غير أن وجود غاز الميتان الذي يمكن استعماله في عملية التسخين يخفض كثيرا" من تكاليف تلك الطريقة.

يلخص الجدول (6 – 14) مواصفات كل من طريقتي تثبيت الحمأة.

الجدول 6 – 14: مقارنة مواصفات طريقتي معالجة الحمأة.

المواصفات	طريقة التثبيت	
	الهوائي	اللاهوائي
المواد الناتجة عن عملية تحلل المركبات العضوية	CO_2 , H_2O , NO_2	NH_4^+ , H_2O , CH_4
الطاقة المستهلكة من قبل البكتريا (حريرة / جزيء غرامي)	650	35
سرعة التحلل	+	–
بناء خلايا حية جديدة	+	–
إرجاع نهائي للمركبات العضوية	–	+
DBO_5 المتبقية مغ / لتر	50 – 500	500 – 3000
DBO_5 في واحد غرام من المواد الطيارة	–	+
MVS / MS	+	–
ثبات المركبات الناتجة (رائحة)	–	+

ب) تكثيف الحمأة (Épaississement):

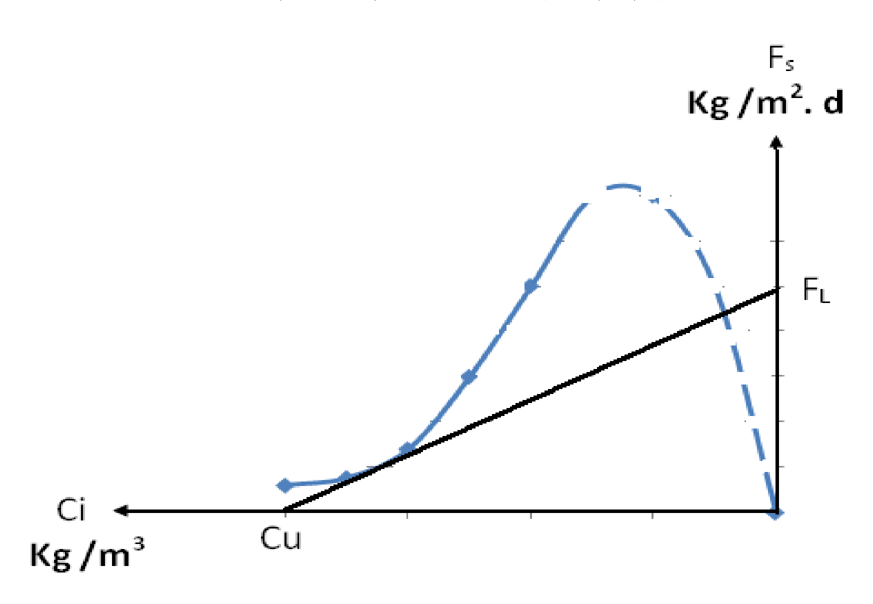
تهدف عملية تكثيف الحمأة إلى إزالة الماء منها وتصغير حجمها الذي يعطي بدوره فوائد عديدة أهمها:

- زيادة زمن التماس داخل الحوض دون زيادة حجمه في حالة تكثيف الحمأة الحديثة التي يراد إعادة استعمالها.
- تحسين في العمليات الجارية خلال المعالجة بالحمأة المكثفة.
- زيادة المردود في عملية التنشيف للحمأة.

أما السلبية الوحيدة لها، مع إهمال الكلفة الاقتصادية المتواضعة، فهي الروائح الكريهة والضارة التي تنتج عن عملية تكثيف الحمأة. وتجري عملية التكثيف بتقنيتين مختلفتين هما: الترقيد أو التعويم .

1 – تكثيف الحمأة بالترقيد:

يدخل معلق الحمأة إلى حوض التكثيف (المرقد) حيث يكون زمن البقاء طويلا" وتحدث عملية التكثيف ذاتيا" ضمن الحوض المجهز بمخرج للحمأة من الأسفل ومخرج للماء من الأعلى، ويمكن الاعتماد على نظرية (KYNCH) لحساب أبعاد حوض الترقيد، إضافة إلى إمكان إجراء اختبار على الحمأة المراد تكثيفها ورسم المنحني البياني لتحول التدفق (Fs) بدلالة تركيز التصفية (Ci) وتحديد المماس على المنحني من أجل قيمة مختارة لتركيز التصفية (Cu) يمكن تحديد التدفق الحدي (F_L) الذي يظهر بالشكل (6 – 24).



الشكل 6 – 24: تحولات التدفق (Fs) بدلالة تركيز التصفية (Ci) .

يعتمد ارتفاع الحوض على نوعية الحمأة، ويجب أن يؤمن عملية فصل مقبولة بين السائل والحمأة، ولذلك فإن ارتفاعا" قدره 3.5 مترا" يكون مقبولا"، ويحقق أيضا" حجما" تخزينيا" للحمأة مقبولا"، ولاسيما لحمأة مياه الصرف الصحي، ونورد في الجدول (6 – 15) أنواع الحمأة المختلفة والحمولة النوعية والتركيز المحتمل لكل منها.

الجدول 6 – 15: أنواع الحمأة المختلفة.

نوع الحمأة	حمولة نوعية (كغ من MES في المتر المربع يوميا")	التركيز المحتمل من MES (غ / لتر)
حديثة (أولية)	80 – 120	100
حديثة + منشطة	50 – 70	50 – 75
منشطة	25 – 30	25 – 30
ناتجة عن عملية إزالة الكربونات	400	150 – 250
ناتجة عن عملية تخثر لخط مياه الشرب المستعمل لمخثر من هيدروكسيد معدني	15 – 25	30 – 40

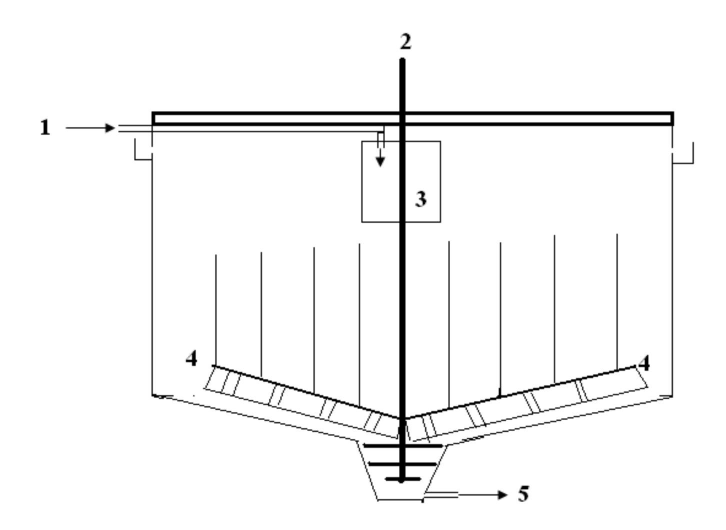
يمكن استعمال حوض تكثيف دون تجريف أو حوض تكثيف مع تجريف ميكانيكي.

- حوض تكثيف دون تجريف:

يستعمل حوض تكثيف بسيط مصنع بهيئة أسطوانية وقعره مخروطي له درجة ميول عن الأفق يتراوح بين 50° إلى 70°.

- حوض تكثيف ميكانيكي:

يتكون من حوض أسطواني وقعر مائل، تتراوح ميوله بين 10° إلى 20° ويصب في حفرة تجميع في وسط قعر الحوض، ومجهز بخلاط ميكانيكي بطيء الحركة يسهل عملية جرف الرواسب في قعر الحوض ودفعها إلى حفرة التجميع، إضافة إلى تسهيل تصاعد الهواء والماء المحتجز ضمن كتل الحمأة، ويعطي الشكل (6 – 25) مخططا" لحوض تكثيف ميكانيكي.



1– التغذية بالحمأة، 2 – خلاط، 3 – قمع الاستقبال، 4 – ذراع الجرف، 5 – الحمأة المكثفة.

الشكل 6 – 25: مخطط لحوض تكثيف ميكانيكي.

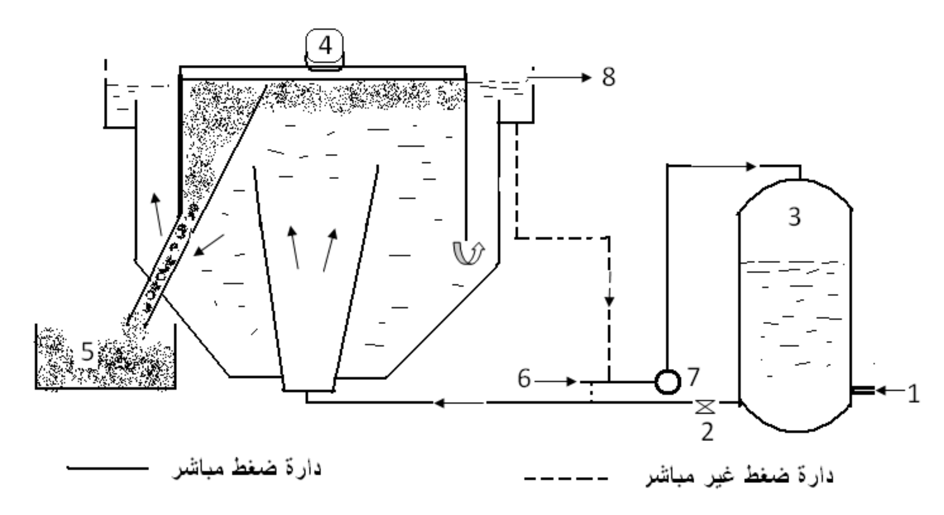
2 – تكثيف الحمأة بالتعويم:

تتمتع هذه التقنية بميزتين أساسيتين هما:

- صغر الحوض اللازم للتكثيف مقارنة بطريقة الترقيد.
- الحصول على حمأة غروية ذات تركيز أعلى من المنتجة بطريقة الترقيد.

ولكن هذه التقنية أكثر كلفة وأقل استطاعة تخزينية للحمأة المكثفة، وتستعمل هذه التقنية عموما" لتكثيف الحمأة المنشطة والخيوط السليلوزية، ولكن يمكن استعمالها للحمأة التي يدخل في بنيتها هيدروكسيد الألمنيوم كمخثر وذات الكثافة المنخفضة.

وتعتمد الطريقة الأكثر استعمالا" على عملية إشباع معلق الحمأة بالهواء تحت ضغط مرتفع (3 – 6 بار) ومن ثم حقن المزيج داخل حوض التعويم. إن عملية الضغط بالهواء يمكن أن تحدث مباشرة على معلق الحمأة، أوعلى نحو غير مباشر حيث تجري عملية ضغط الهواء على الماء (وعادة الماء المصفى) ومن ثم يمزج بالحمأة بعد خروجه من كاسر الضغط (الضغط غير المباشر) كما هو موضح بالشكل (6 – 26).



1 – هواء مضغوط، 2 – صمام كاسر الضغط، 3 – حوض الإشباع، 4 –جهاز التعويم، 5– حمأة مكثفة، 6– معلق الحمأة للتكثيف، 7 – مضخة، 8 – ماء مصفى.

الشكل 6 – 26: مخطط وحدة التكثيف بالتعويم.

ج) تعديل الحمأة:

بعد إجراء عملية التثبيت للحمأة فإنها تحتوي نسبة عالية من الماء تصل إلى 98% للحمأة المكونة من المواد العضوية، وإلى 80% للحمأة المكونة من المواد المعدنية، ولذلك يجب إجراء عملية نزع الماء من الحمأة لتصبح قابلة للنقل والاستعمال. وبالتالي فإن عملية التعديل ضرورية فهي تغير من قوى الالتصاق بين جسيمات الحمأة وتكسر الثبات الغروي القائم ضمنها، ومن أهم الطرائق المستعملة في عملية التعديل للحمأة طريقة المعالجة الحرارية، وكذلك طريقة التخثر والتكتل الكيميائي. إذا" فإن عملية التعديل بالطريقة الحرارية أو الكيميائية ضرورية جدا" لتصبح عملية التجفيف ممكنة في مرحلة لاحقة.

1 – التعديل الكيميائي:

تجري عملية التعديل الكيميائي للحمأة بتطبيق طريقة التخثر والتكتل التي طبقت في مجال معالجة المياه، حيث تستعمل الكواشف الكيميائية نفسها وكذلك التقنيات في عملية التكتل والترقيد، غير أن الفرق بين الحالتين أن اختيار المخثر مع الحمأة مرتبط بنوعية الحمأة، فعلى سبيل المثال إذا كانت الحمأة مكونة من هيدروكسيد أليف للماء، يكفي استعمال الكلس الحي لإجراء عملية التعديل (إضافة تعادل 50% من قيمة MES للحمأة وزنا")، أما إذا كانت الحمأة عضوية وأليفة للماء فإن إضافة الكلس الحي تترافق مع إضافة كلور الحديد (إضافة 3 – 12% وزنا" من كتلة الحمأة الجافة) لإجراء عملية التعديل جيدا". ويعتبر كلور الحديد أكثر

استعمالا" في تعديل الحمأة مترافقا" مع الكلس الحي، وتكون نسبة الإضافة متعلقة بمكونات الحمأة، فكلما زادت نسبة المواد القابلة للتبخر فيها ازدادت نسبة الكلس وكلور الحديد اللازمة للمعالجة. وتتراوح نسبة الكلس المضافة عادة بين 150% إلى 250% من كمية كلور الحديد المضافة.

إن معظم المواد المضافة تبقى مع الحمأة في صيغة هيدروكسيد المعدن أو كربونات الكالسيوم، بينما يعبر نحو 20% إلى 40% منها إلى الرشاحة السائلة، ويكون معظمها أملاح الكلوريد.

تستعمل أملاح الحديدي (Fe^{+2}) أيضا" وهي أقل فعالية من كلور الحديد ولكن سعرها منخفض، وتستعمل أملاح الألمنيوم علما أنها أقل فعالية من أملاح الحديد، وتستعمل في معالجة الحمأة الصناعية مواد عضوية طبيعية (الأميدون، الصمغ،....،... .) أو مواد عضوية مصنعة (راجع الفصل الرابع)، غير أن استعمال هذه المواد مكلف اقتصاديا" ويحتاج إلى تقنية أكثر تعقيدا من المخثرات المعدنية.

2 – التعديل الحراري:

إن تسخين الحمأة (طبخ الحمأة) ولاسيما إذا كانت عضوية التركيب يقود إلى تحولات فيزيائية وكيميائية غير عكوسة في بنيتها، علما أن درجة حرارة التسخين المعتمدة تتراوح بين 160 و 210 درجة مئوية وزمن التسخين 30 إلى 60 دقيقة، تبعا" لنوع الحمأة ولطريقة ضغطها لاحقا".

وخلال عملية التعديل الحراري يحدث تفكك الجليد الغروي الذي يترافق مع حدوث ظاهرتين هما:

- انحلال بعض المواد المعلقة (النشاء مثلا").
- ترسب بعض المواد المعلقة (الغليكوز).

يعطي الجدول(6 – 16) تأثير التعديل الحراري في الدرجة 180^o م على بعض المواد في الحمأة المخمرة والناتجة عن معالجة مياه الصرف الحضرية.

الجدول 6 – 16: تحول تركيز المواد القابلة للتبخر في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الحضرية نتيجة التعديل الحراري.

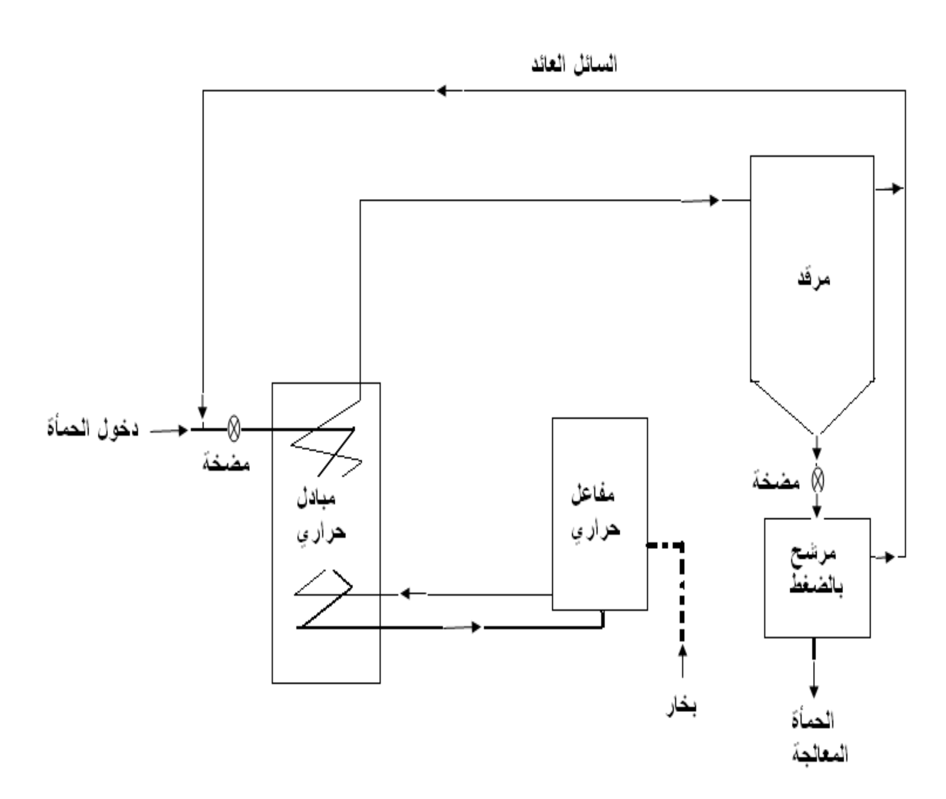
درجة الحرارة م	زمن التسخين دقيقة	الدهون %	السكريات %	البروتينات %	مواد أخرى قابلة للتبخر %
180^o	10	51.2	44	3.35	1.45
180^o	75	47.4	47.6	3.7	1.3

يمكن تلخيص الميزات الأساسية للتعديل الحراري للحمأة بالآتي:

- يمكن تطبيقها على جميع أنواع الحمأة العضوية.

- سهولة ضبطها.
- تؤدي إلى تطهير (تعقيم) الحمأة.
- الحصول على حمأة سهلة الكبس والتنشيف.
- عدم استعمال مواد كيميائية.

يوضح الشكل (6 – 27) مخطط طريقة التعديل الحراري للحمأة التي تتضمن الترقيد والترشيح بعد المعالجة الحرارية.



الشكل 6 – 27: مخطط معالجة الحمأة حراريا".

د – ترشيح الحمأة:

تعد طريقة ترشيح الحمأة بالضغط، أكثر انتشارا" في إزالة الماء من الحمأة، ويمكن أن تجرى عملية الترشيح ببساطة على طبقة رملية، أو ترشيح ميكانيكي تحت الفراغ أو تحت الضغط، ورغم أن معلق الحمأة معقد جدا" فإن القواعد النظرية الخاصة بقوانين الترشيح على شريحة وشروط التدفق ضمن طبقة الراسب يمكن تطبيقها على عملية ترشيح الحمأة.

- **المقاومة النوعية لترشيح الحمأة:** المقاومة النوعية (r) هي المقاومة التي تعارض عملية ترشيح شريحة متوضعة على مساحة 1 م^2 من المرشح وتحوي 1 كغ من المواد الجافة، وتعبر المعادلة الآتية عن تلك العملية:

$$\frac{t}{v} = \frac{\mu . C . r}{2P\,S^2} \times v = a\,v$$

حيث:

t – الزمن مقدرا" بالثانية.

v – حجم الكتلة المستحصل عليها من الترشيح في الزمن t مقدرا" بالمتر المكعب.

μ – اللزوجة الديناميكية للكتلة المستحصل عليها، وقيمتها 1.1×10^{-3} باسكال. ثا تقريبا" في درجة الحرارة العادية.

C – تركيز المعلق الوحلي مقدرا" بالكتلة الجافة (كغ / م^3)

S – سطح المرشح (م^2).

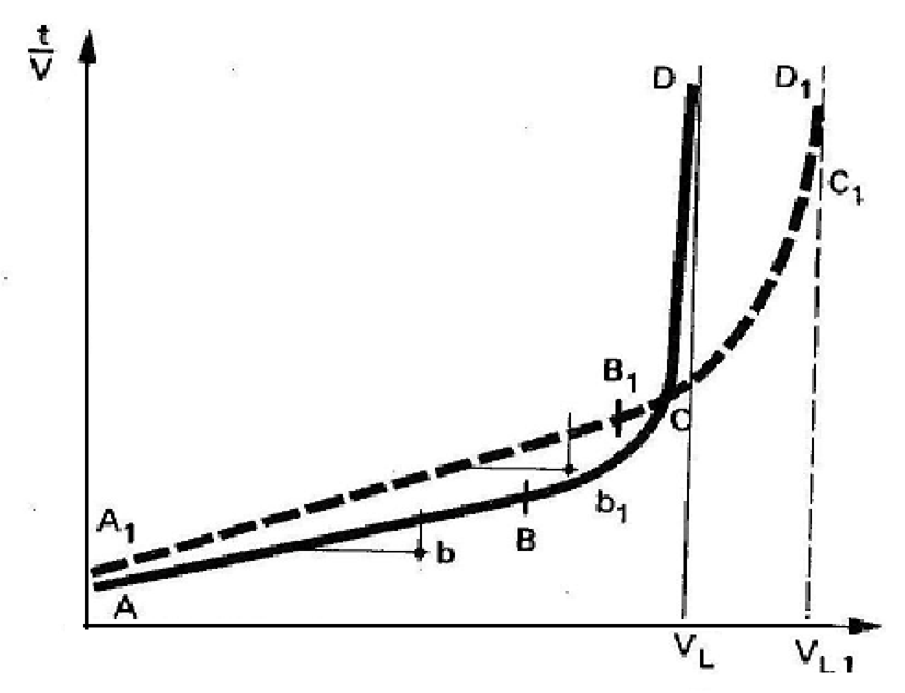
P – الضغط (باسكال).

r – المقاومة النوعية تحت الضغط P (م / كغ) .

للحصول على تلك العلاقة أمكن اعتماد عدد من الفرضيات أهمها:

- مقاومة المواد المرشحة (Rm) مهملة (في حالة الحمأة) مقارنة بالمقاومة النوعية للقرص الناتج.
- من أجل معظم حالات الحمأة، فإنه يمكن استبدال الكتلة المترسبة (w) والمستعملة بقانون المرشح بالتركيز (C).

يمكن إجراء تجربة بسيطة في المختبر لترشيح الحمأة تحت ضغط معين والواردة في العلاقة أعلاه. ويمكن رسم المنحني البياني للقيمة (t / v) بدلالة (v) والحصول على القيمة (a) المتمثلة بميل المستقيم (AB)الظاهر في الشكل (6 – 28).

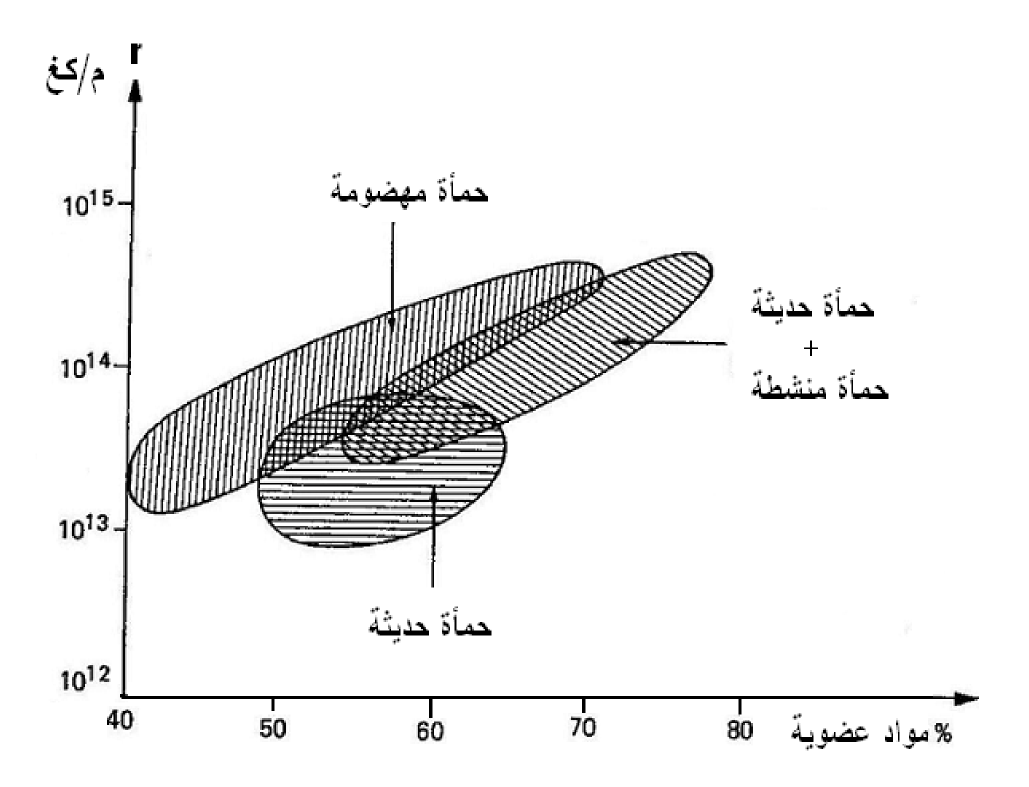


الشكل 6 – 28: الترشيح تحت ضغوط مختلفة(P و P_1).

وبذلك يمكن تحديد قيمة المقاومة النوعية تحت ضغط معين (P) من العلاقة الآتية:

$$r = \frac{2\,a\,P\,S^2}{\mu .\ C}$$

وتعدّ المقاومة النوعية للحمأة ($r_{0.5}$) أو معامل الترشيح تحت ضغط 0.5 بار، معيارا" أساسيا" لنوعية الحمأة، وعملية تعديل الحمأة تهدف إلى تخفيض هذه المقاومة النوعية لتسريع عملية الترشيح. ويتأثر هذا المعامل بنسبة المواد الغروية الأليفة للماء والداخلة في تركيب الحمأة، وفي حالة مياه الصرف الحضرية، فإن تلك النسبة للمواد الغروية تتفق مع نسبة المواد القابلة للتبخر، ويوضح الشكل (6 – 29) المناطق المختلفة المميزة لأنواع الحمأة الجديدة والحمأة القديمة (المهضومة)، وإن المقاومة النوعية للحمأة غير متعلقة نظريا" بطريقة الضغط المستعملة.



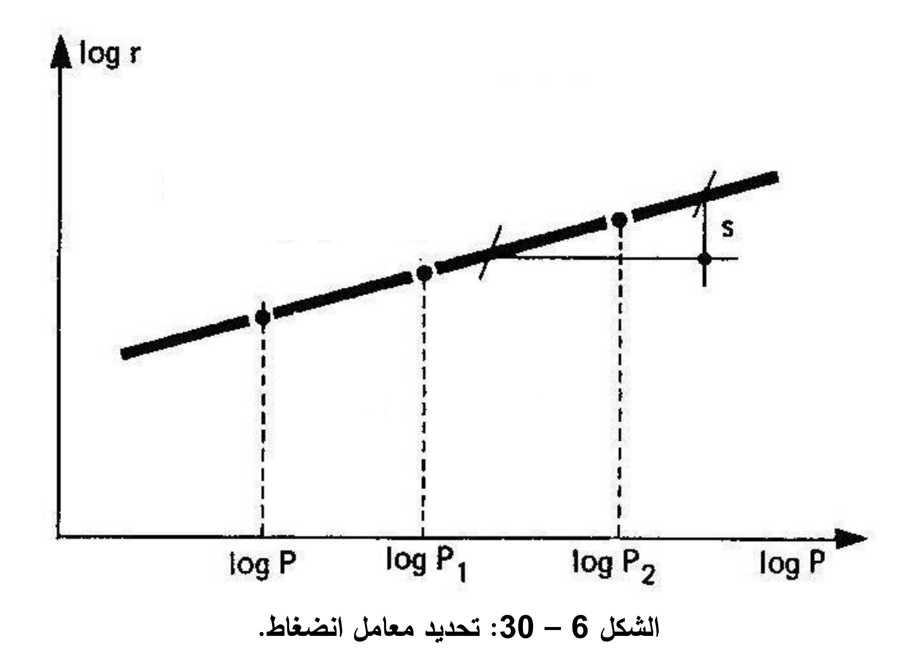
الشكل 6 – 29: المقاومة النوعية للحمأة بدلالة نسبة المواد العضوية في حالة مياه الصرف الحضرية.

- **قابلية الضغط للحمأة** (Compressibilité): عندما تتعرض الحمأة إلى ضغط متزايد يتولد انضغاط الفراغات داخل الشريحة، وبالتالي ظهور مقاومة متزايدة للترشيح. ولذلك فإن معامل قابلية الضغط للحمأة (s) يدخل في علاقة معامل الترشيح وفقا" للعلاقة التقريبية الآتية:

$$r = 2^s . r_{0.5} . p^s = r` p^s$$

يجري تحديد قيمة (s) من ميل المستقيم في المنحني البياني الوارد بالشكل (6 – 30) حيث:

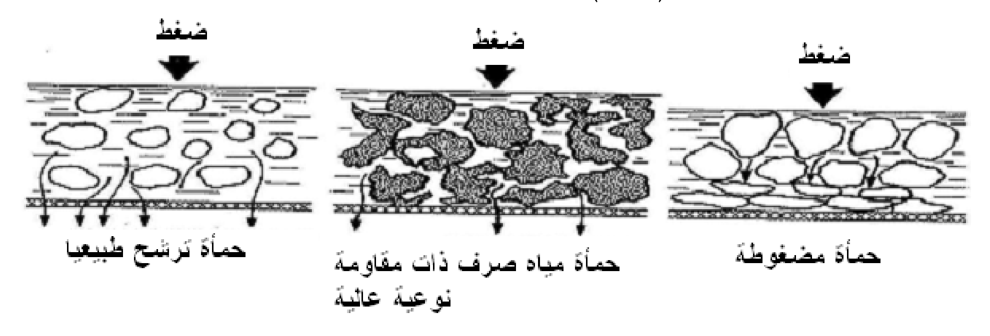
$$S = \frac{\log r_1 - \log r}{\log p_1 - \log p}$$



الشكل 6 – 30: تحديد معامل انضغاط.

إذا كانت مكونات الحمأة من المواد المتبلورة وذات الأحجام والأشكال المتقاربة فإن قابلية الانضغاط تكون ضعيفة، وعند ذلك تتراوح قيمة (s) بين الصفر و 0.3 ، أما في حالة الوحل العضوي فتكون قيمة (s) أعلى من 0.5 وقد تصل إلى قيمة أعلى من الواحد في حالة الحمأة المنشطة النقية.

للعديد من الأوحال العضوية ضغط حرج يصبح عنده إمكان الانضغاط والترشيح مستحيلا"، وعلى سبيل المثال فإن قيمة الضغط الحرج لحمأة مياه الصرف الحضرية بحدود 15 بار وأن أي زيادة في الضغط عن هذه القيمة ليس لها مردود، ويظهر الشكل (6 – 31) بنية الأنواع المختلفة من الأوحال المنشطة (الحمأة).



الشكل 6 – 31: بنية أنواع مختلفة من الأوحال المنشطة (حمأة).

- حدود الجفاف (Siccité Limite):

عند إجراء عملية ترشيح للحمأة تحت ضغط مرتفع ومتزايد من 5 بارات إلى 15 بارا" فإن منحني الترشيح ($t / v = f (V)$) يعطي المسار الوارد في الشكل (6 – 28)، ويلاحظ أن المنحني مكون من ثلاثة أجزاءٍ:

- الجزء الأول(AB) المستقيم الخاضع لقانون الترشيح الذي يحدث أيضا" في الضغوط الخفيفة (0.5 إلى 1 بار).
- الجزء الثاني (CD) حيث إن زيادة زمن الترشيح لا يترافق مع زيادة في حجم الرشاحة، وتنتج هذه الحالة عن عدد من الظواهر المتداخلة مع بعضها (انضغاط الشريحة، ارتفاع اللزوجة، التصاق الوسط المرشح، تشوه أشكال الجسيمات المكوّنة للوحل المنشط تحت تأثير الضغط).
- الجزء الثالث (BC) وهو الواصل بين الجزئين السابقين وليس ذا أهمية كبيرة.

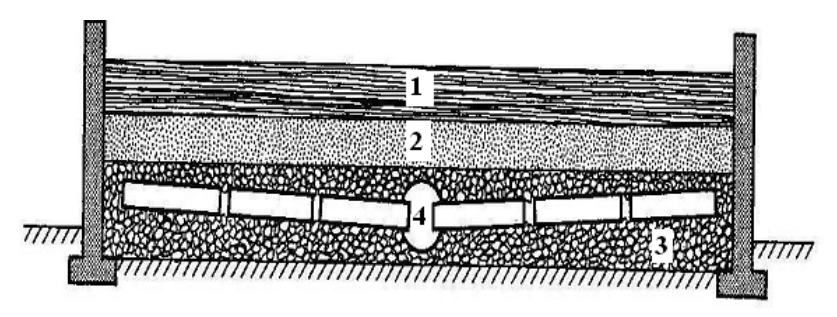
وتعرف حدود الجفاف (S_L) بأنها جفافية الشريحة المرشحة بعد زمن محدد من الترشيح، ويكون عندها حجم الشريحة المرشحة (V_L) متناسبا" لوغارتميا" مع الضغط (P)، وبالتالي يكمل مستقيم كارمان (CARMAN) بجزء تقريبي وفقا" للعلاقة الآتية:

$$\frac{t}{V} = a\,v + \frac{K.\ V}{(V_L - V)\,V_L}$$

- سرير التجفيف (مرشح التجفيف):

كانت طريقة التجفيف للحمأة على السرير الرملي من أكثر الطرائق استعمالا" لسنوات قليلة ماضية، وما زالت بعض المحطات تستخدمها حتى الآن رغم متطلباتها من المساحات الواسعة واليد العاملة ولاسيما في المناطق المتمتعة بشروط جوية مناسبة لها، ولكن لدواعٍ بيئية وصحية فإن هذه الطريقة لا تطبق على الحمأة المتعفنة، إضافة إلى أن مردودها ضعيف جدا" في المناطق الباردة أو المعتدلة بعكس المناطق الحارة.

تتكون السطوح المرشحة من طبقة رملية سماكتها 10 سم وأبعاد حُبيباتها تتراوح بين 0.5 إلى 1.5 مم، وتتوضع الطبقة الرملية على طبقة حاملة من الحصى أبعاد حبيباتها 15 إلى 25 مم، وفي أسفل الحوض ضمن الطبقة الحاملة تُلاحظ قنوات التصريف المصنعة عادة من الإسمنت والمائلة لتأمين تصريف متجانس للمياه (الشكل 6 – 32)، يوزع على سطح المرشح طبقة من الحمأة المراد تجفيفها بثخانة قدرها 30 سم على الأكثر لتجنب حدوث انسدادات للمرشح.



1– الحمأة ، 2 – طبقة الرمل، 3– طبقة الحصى، 4 – قنوات التصريف

الشكل 6 – 32: سرير التجفيف للحمأة.

يعتمد عمل سرير التجفيف في المرحلة الأولى على مبدأ الترشيح العادي حيث يمكن ترشيح 80% من الماء المحتوى ضمن الحمأة القادمة من محطة معالجة مياه الصرف الحضرية، أما المرحلة الثانية فإنها تتضمن عملية تبخير للماء المتبقي في الحمأة، تزال الحمأة الجافة من على سطح المرشح يدويا" أو آليا"، أما مردود عملية التجفيف فإنه متعلق بنوع الحمأة وبالشروط الجوية (درجة الحرارة، الرطوبة، سرعة الرياح،....،... .)، ويتراوح بين 0.3 إلى 0.6 كغ من (MS) لكل متر مربع واحد من سطح المرشح، ويعطي الشكل (6 – 33) صورة لسطح السرير المجفف للحمأة حيث تظهر الحمأة الجافة.



الشكل 6 – 33: الحمأة الجافة في سرير تجفيف الحمأة.

هـ) التخلص من الحمأة:

هناك عدة طرائق للتخلص من الحمأة بعد معالجتها نذكر منها:

- تفريغها في مكان معين ومخصص لهذه الغاية بعد معالجتها.
- استعمالها كسماد زراعي في هيئتها السائلة في مناطق قريبة من المحطة، أو بعد معالجتها كي تسهل عملية نقلها إلى أماكن بعيدة.
- وضعها في بئر مخصص لها بعد مزجها بمواد سليلوزية.
- تحويلها إلى رماد (Incinération) ضمن أفران خاصة .

6. 5 محطات معالجة مياه الصرف الحضرية (مياه المجارير العامة):

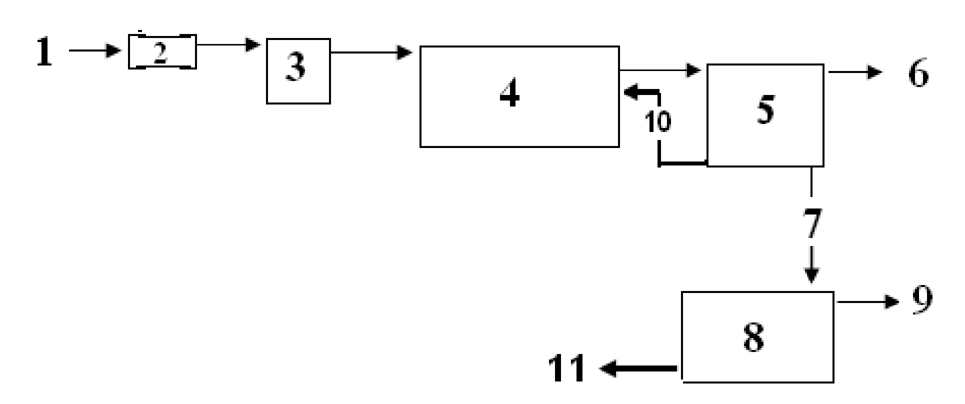
إن معالجة المخلفات السائلة، وإعادة استعمالها أصبح ضروريا"، ولاسيما في المناطق الفقيرة بمصادر المياه الطبيعية، حيث تستعمل المياه المعالجة في ري المزروعات أو يعاد استعمالها في الصناعة أو في مجالات أخرى مختلفة، ولكن إعادة استعمال مياه الصرف يتطلب معالجة متكاملة لها.

6. 5. 1 محطات المعالجة المعتمدة على أحواض التهوية المطولة:

يخصص هذا النوع من الأحواض للمحطات الصغيرة نسبيا"، حيث تكون سعتها محدودة، غير أن لها ميزات عديدة من أهمها سهولة تشغيلها ومراقبتها، ولكن يلزمها حوض واسع جدا" مقارنة مع الطرائق الأخرى.

6. 5. 2 محطات المعالجة المتضمنة حوض التهوية وحوض الترقيد:

تستخدم هذه المحطات لمعالجة مياه المجارير للمدن الصغيرة (أقل من 50 ألف نسمة). ويوضح الشكل(6 – 34) مخططا" لهذه المحطات، وتحتوي على حوض للتهوية متبوعا" بحوض للترويق مع سلسلة كاملة لمعالجة الحمأة الناتجة.



1– الماء الخام، 2– شبك معدني، 3– حوض ترقيد أولي، 4– حوض التهوية (معالجة حيوية)، 5– حوض الترويق، 6 – الماء المعالج، 7– الحمأة، 8– حوض تثبيت الحمأة، 9– المياه الناتجة عن معالجة الحمأة، 10– حمأة معاده، 11– حمأة معالجة.

الشكل 6 – 34 مخطط لمحطة معالجة مياه المجارير العامة المتضمنة حوضي التهوية والترقيد .

يمرر ماء الصرف على شبك معدني (2) لفصل الأجسام الكبيرة المحمولة ضمن التيار المائي، ومن ثم تعبر مياه الصرف حوض الترقيد الأولي والمجهز بكاسح لإزالة الزيوت والشحوم الطافية على السطح (3)، يدخل الماء بعد ذلك إلى حوض التهوية (4) المجهز بنظام لضخ الهواء سطحيا" مع التحريك المستمر، يخرج الماء من حوض التهوية إلى حوض الترويق (5) حيث تفصل الحمأة المترسبة في قاع الحوض عن الماء الرائق، وُيعاد قسم من الحمأة إلى حوض التهوية بوساطة مضخة خاصة، أو بالاعتماد على السيلان الطبيعي عندما يكون حوض الترويق بمستوى أدنى من حوض التهوية. بينما يقاد القسم الفائض من الحمأة إلى حوض التثبيت (8).

تتراوح استطاعة حوض التهوية في هذا النوع من المحطات بين واحد كيلوغرام إلى كيلوغرامين من (DBO_5) للمتر المكعب الواحد من حجم الحوض يوميا". بينما تصل الحمولة الهيدرولية للمروق إلى 2 مترا" مكعبا" في الساعة للمتر المربع الواحد من سطح الحوض. ويحدد حوض تثبيت الحمأة اعتمادا" على عدد السكان للمنطقة التي تطرح مخلفاتها في محطة المعالجة، حيث يُبنى على أساس 25 إلى 50 لترا" للفرد الواحد.

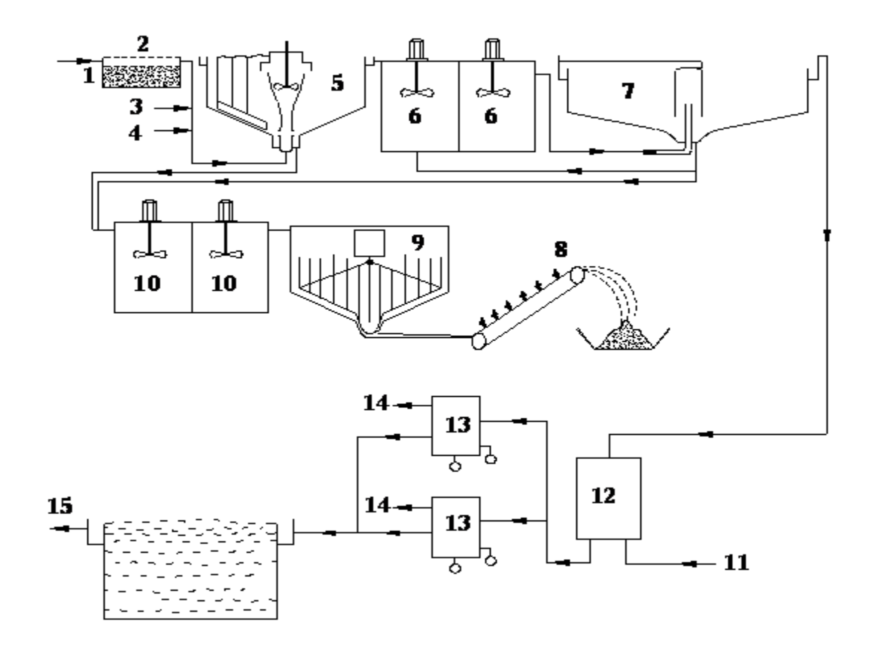
6. 5. 3 المحطات الجامعة بين حوض التهوية والسرير البكتري:

تستعمل المحطات الجامعة بين حوض التهوية والسرير البكتري للحصول على مياه معالجة على نحو جيد وقابلة للاستعمال في مجالات عديدة. ونعطي فيما يلي وصفا" لنوعين من تلك المحطات:

آ) **مثال أول:**

محطة تعالج مخلفات 16 ألف شخص، وتضم نظاما للمعالجة الكيميائية متبوعا" بمرقد للتخلص من الرواسب الناتجة عن عملية التخثير والتكتل ومن ثم حوض للتهوية سعته 1000 متر مكعب يليه حوض آخر للترقيد ثم المرشح البكتري والمؤلف من مرشحين متوازيين سطح كل منهما 6.3 مترا" مربعا" وارتفاعه 1.5 مترا".

يحتوي المرشح البكتري بداخله الآجر المشوي على شكل حبيبات أبعادها 2 مم تقريبا". تجري عملية مزج الهواء مع الماء الخارج من حوض الترويق ضمن حوض خاص بذلك وقبل دخول الماء إلى المرشح البكتري. تحتوي المحطة أيضا" على نظام متكامل لمعالجة الحمأة المنشطة بوساطة حوض للتثبيت سعته 600 متر مكعب متبوعا" بحوض لتكثيف الحمأة ثم تنشيفها وتحويلها إلى سماد عضوي (الشكل 6 – 35).



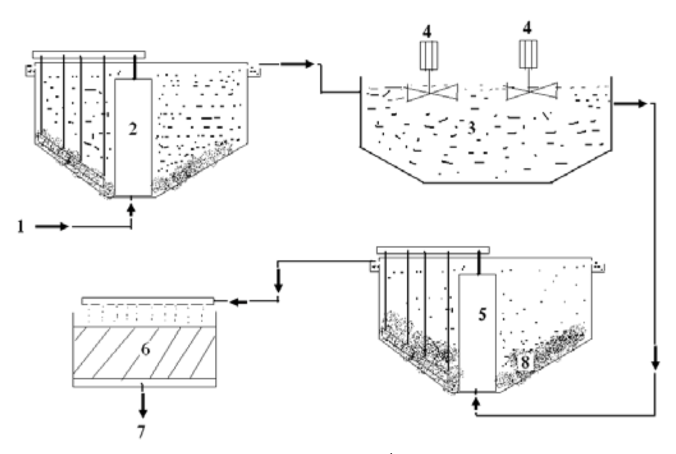
1– المياه الخام، 2– حوض ترقيد لإزالة الزيوت والمواد الصلبة ، 3– الكلس الحي، 4– كلور الحديد 5– المرقد الأولي، 6 – حوض التهوية، 7– مروق ، 8– تنشيف الحمأة، 9– مكثف الحمأة، 10– حوض تثبيت الحمأة ، 11– هواء ، 12التهوية الأولية ، 13– المرشح البكتري، 14– ماء غسيل المرشح ، 15 – الماء المعالج.

الشكل 6 – 35: مخطط محطة معالجة مياه الصرف المتضمنة المعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية وقسما" لمعالجة الحمأة.

ب) مثال ثانٍ:

محطات مخصصة لمياه الصرف العامة تتضمن الأجزاء الآتية (الشكل 6 – 36):

- خطا" لمعالجة مياه الصرف باستعمال حوض التهوية مع معالجة أولية للمياه. تبلغ الحمولة الحجمية لحوض التهوية 7.2 كغ من (DBO_5) للمتر المكعب الواحد يوميا"، بينما تبلغ الحمولة الكتلوية 1.43 كغ من (DBO_5) لكل كغ من الحمأة المنشطة.
- حوض ترشيح بكتري.
- خطا" لمعالجة الحمأة المنشطة ويحتوي على حوض تخمر لاهوائي وحراري مع وجود مثقلة.



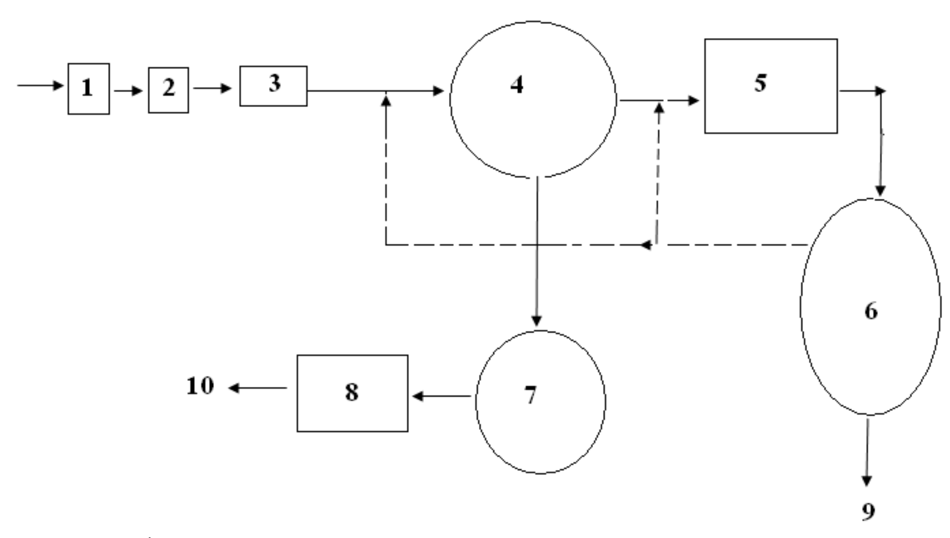
1– ماء الصرف الخام، 2– حوض الترقيد الأولي، 3– حوض التهوية، 4– مهويات ميكانيكية سطحية، 5– حوض الترويق، 6– المرشح البكتري، 7– ماء معالج

الشكل 6 – 36: مخطط لمحطة معالجة مياه الصرف مع مرشح بكتري.

6. 5. 4 محطات المعالجة كاملة المراحل وذات الاستطاعات العالية:

تحتوي محطات معالجة مياه الصرف للمدن الكبيرة على المراحل الآتية:

- شبكة (غربال) لفصل الجسيمات الصلبة الكبيرة.
- حوض مشترك، أو حوضين منفصلين لإزالة الرمل والزيوت المحمولة.
- ترقيد أولي.
- حوض التهوية.
- مروق (مرقد).
- معالجة الحمأة المنشطة، وتتضمن حوضا" للتخمر اللاهوائي ونظاما" للتنشيف الحراري، ونظرا لكون فعالية التخمر اللاهوائي تزداد عندما تكون الحمأة حديثة فإن جزءا" من الحمأة المنشطة الزائدة يعاد ويمزج مع المياه الخام قبل دخولها حوض الترويق الأولي مما يرفع المردود لذلك الحوض بمقدار يتراوح بين 25% إلى 35% للطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين، وبالتالي يمكن تصغير حجم حوض التهوية بالنسبة للقيم النظرية المحسوبة على أساس عدد السكان، وينتج عن ذلك توفير في كلفة الإنشاء وتوفير بالطاقة، ويوضح الشكل (6 – 37) مخططا" عاما" لمحطة من هذا النوع.



1– حلزون لرفع الماء، 2 – شبك معدني، 3 – حوض لإزالة الزيوت والرمال، 4– مرقد أولي، 5– حوض التهوية، 6– حوض الترويق (الترقيد) 7– حوض تخمر الحمأة، 8– تجفيف الحمأة، 9 – مياه معالجة، 10– حمأة معالجة.

الشكل 6 – 37: مخطط لمراحل المعالجة لمياه الصرف وللحمأة المنشطة.

6. 5. 5 المحطات المعتمدة على أحواض الأكسدة الطبيعية:

تعدّ محطة معالجة مياه الصرف في منطقة السلمية الواقعة شرقي حماة على حدود البادية السورية، المحطة الأولى لمعالجة مياه الصرف الحضري (1993) في سورية، وكانت الثانية محطة عدرا لمدينة دمشق (1997)، ثم محطة حمص (1999)، ومحطة الشيخ سعيد بحلب (2002).

تتميز محطة معالجة مياه الصرف لمدينة السلمية بأنها المحطة الوحيدة في سورية التي تعتمد طريقة أحواض الأكسدة الطبيعية.

آ) معلومات تصميمية:

اعتمد تصميم المحطة على المعاملات الآتية:

- استطاعة: 4500 متر مكعب يوميا".
- زمن المكوث في الأحواض: 27 يوما".
- الحمل الحيوي الداخل إلى المحطة: 350 مغ / لتر من (DBO_5).
- الحمل الحيوي الخارج من المحطة: 60 مغ / لتر من (DBO_5).

ولكن عندما استثمرت المحطة في عام 1993، كان تدفق مياه الصرف لمدينة السلمية بحدود 7000 متر مكعب يوميا"، مما أدى إلى تشغيل المحطة بشروط مختلفة عن الشروط التصميمية، وهي كما يلي:

- التدفق: 7000 متر مكعب يوميا."
- الحمل الحيوي الداخل للمحطة: 440 مغ / لتر من (DBO_5).
- زمن المكوث في أحواض التهوية الطبيعية: 15 يوما."
- الحمل الحيوي للماء المعالج الخارج من المحطة: 150 مغ / لتر.

ولكن نظرا" لزيادة عدد السكان (80000 نسمة)، وارتفاع المستوى المعيشي الذي ترافق مع زيادة كمية مياه الصرف (8000 – 8500 متر مكعب يوميا")، وبهدف رفع استطاعة المحطة ورفع كفاءة المعالجة فقد أقيم ثلاثة أحواض أكسدة آلية قبل مرحلة الأكسدة الطبيعية، ودخلت الخدمة في عام 2011.

ب) مبدأ عملية أحواض الأكسدة الطبيعية:

تعتمد المعالجة على التحلل الحيوي الهوائي للمواد العضوية، حيث يتغذى بجزء منها البكتريا التي تتكاثر، ويتحول الجزء الآخر لمواد بسيطة تتحول بالنهاية إلى الماء وثنائي أكسيد الكربون، وتستهلك خلال هذه العملية كمية من الأكسجين المنحل في الماء، ونتيجة وجود الطحالب ضمن الحوض فإنها تستهلك ثنائي أكسيد الكربون (الناتج عن الفعل البكتري) وبعض المواد المغذية المنحلة مطلقة الأكسجين (اللازم للبكتريا) الذي يذوب بسهولة في الماء، والطحالب هي مصدر أساسي للأكسجين الذائب في برك الأكسدة (تقوم بالتركيب الضوئي بوجود أشعة الشمس)، وتعدّ هذه المعالجة مطابقة لحالة التنقية الذاتية (Auto-épuration) التي تحدث في الانهار والبحيرات، ولذلك تسمى طريقة بحيرات الأكسدة الطبيعية.

ج) أقسام المحطة:

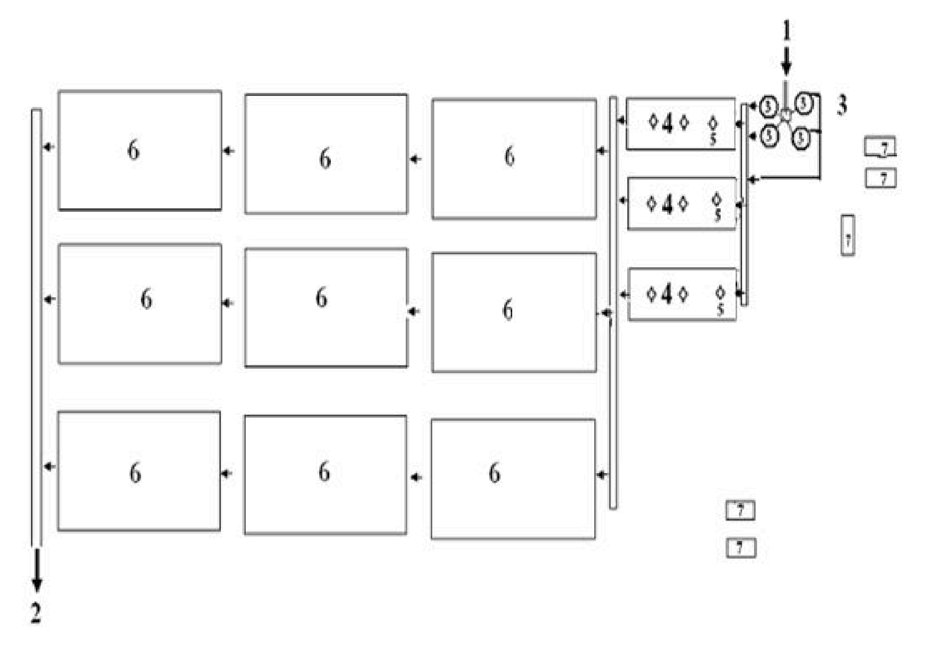
يظهر الشكل (6 – 38) مخططا" عاما" لمحطة المعالجة، وتتألف من المراحل الآتية:

1– قناة الدخول وتحتوي شبكا" معدنيا" (4x 4 سم) لحجز المواد المحمولة ذات الأحجام الكبيرة.

2– حجرة التوزيع والمجهزة بجرارات يدوية للتحكم في توزيع مياه الصرف على أحواض الترقيد الأولية.

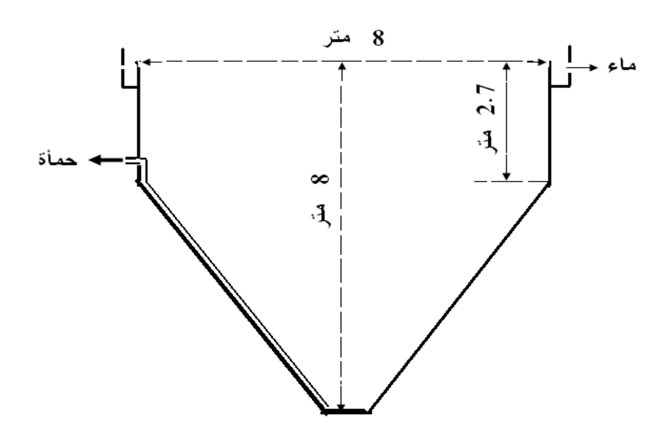
3– أحواض الترقيد الأولية وعددها /4/ أحواض متماثلة في شكلها وأبعادها، وتتكون من جزء علوي أسطواني، وجزء سفلي مخروطي، وتبلغ سعة الحوض الواحد 225 م^3،

وبالتالي فالسعة الكلية لأحواض الترقيد الأولية تبلغ 900 متر مكعب. ولما كان الحد الأقصى للتدفق اليومي 8500 متر مكعب، فإن زمن الترقيد الأولي 2.5 ساعة على الأقل، ويعطي الشكل (6 – 39) مخططا" لحوض الترقيد الأولي.



1- مدخل ماء الصرف، 2- مخرج الماء المعالج، 3- أحواض ترسيب أولية، 4- أحواض الأكسدة الميكانيكية، 5- أجهزة التهوية الميكانيكية، 6- أحواض التهوية الطبيعية،7- أحواض تجفيف الحمأة.

الشكل 6 – 38: مخطط عام لمحطة المعالجة بمدينة السلمية.



الشكل 6 – 39: أبعاد حوض الترقيد الأولي.

كما ويعطي الشكل (6 – 40) صورة لحوض الترقيد الأولي، ويظهر في الصورة أنبوب خروج الحمأة تحت ضغط العمود المائي دون استعمال مضخات.



الشكل 6 – 40: صورة حوض الترقيد الأولي.

4- حجرة التوزيع إلى أحواض التهوية الآلية، وتحتوي جرارات يدوية للتحكم في توزيع المياه بالتساوي على أحواض التهوية الآلية (الشكل 6 – 41).



الشكل 6 – 41: حجرة توزيع الماء ويظهر أحواض التهوية الآلية خلفها في حالة التفريغ مع المهويات في حالة توقف.

5- – أحواض التهوية السطحية الآلية:

تم تطوير المحطة بإضافة ثلاثة أحواض تهوية سطحية آلية قبل أحواض التهوية الطبيعية.

يبلغ طول الحوض الواحد 90 مترا" وعرضه 30 مترا" وعمقه 3.5 مترا"، يجهز كل حوض بثلاثة مهويات طافية و متحركة حول عمود التثبيت وذات استطاعة تهوية تقدر نظريا" بما يعادل 35 كغ من الأكسجين الهوائي في الساعة للجهاز الواحد (الشكل 6 – 42).



الشكل 6 – 42: حوض التهوية الآلية.

6- أحواض الأكسدة الطبيعية وعددها /9/ أحواض متماثلة في شكلها وأبعادها، مما يسمح للماء بعبور ثلاثة أحواض متتالية وبالراحة نظرا" لاختلاف مستوياتها، يبلغ طول الحوض الواحد من الأعلى 170 مترا" ومن الأسفل 165 مترا"، أما عرضه من الأعلى فيبلغ 57 مترا" ومن الأسفل 52 مترا"، وارتفاع الحوض الأعظمي 130 سم، تبلغ سعة الحوض الواحد 12 ألف متر مكعب، وبالتالي فإن السعة الكلية لأحواض الأكسدة الطبيعية تبلغ 108 آلاف متر مكعب، مما يعطي زمن مكوث بحدود 13 يوما"على الأقل ضمن متوسط التدفق اليومي الداخل حاليا" للمحطة، ويظهر الشكل (6 – 43) صورة لأحد أحواض التهوية الطبيعية.



الشكل 6 – 43: أحد أحواض التهوية (الأكسدة) الطبيعية.

7- مجمع المياه المعالجة: يجمع الماء المعالج من الأحواض الثلاثة و يصب ضمن قساطل من الإسمنت توزع المياه المعالجة بالراحة على الأراضي الزراعية.

8- أحواض تجفيف وتخمير الحمأة وعددها خمسة ومتماثلة بشكلها وأبعادها، وهي أحوض ترابية (شكل 6 – 45) تسمح بتجفيف طبيعي بأشعة الشمس للحمأة، والمقطع العمودي للحوض شبه منحرف، حيث يبلغ طول الحوض من الأعلى 90 مترا" ومن الأسفل 61 مترا" بينما عرضه من الأعلى 30 مترا" ومن الأسفل 13 مترا"، مما يعطي سطح تجفيف وسطي كلي بحدود 1600 متر مربع.



الشكل 6 – 44: أحد أحواض التجفيف المليء بالحمأة في طور التجفيف.

د) طريقة عمل المحطة:

تدخل المياه إلى المحطة عبر القناة الرئيسية حيث تمر على شبك معدني لحجز المواد المحمولة ذات الأحجام الكبيرة (تنظيف يدوي)، ثم تعبر تلك المياه حجرة التوزيع إلى أحواض الترقيد الأولية، التي يجري فيها ترسيب المواد المعلقة العضوية والغروية إضافة إلى المواد الصلبة المعدنية والرمل، ويقدر زمن المكوث في أحواض الترقيد الأولية 2.5 ساعة، تعبر المياه من أعلى حوض الترقيد الأولي إلى حوض التهوية الآلي، بينما تخرج الحمأة السائلة تحت ضغط عمود الماء بوساطة أنبوب يمتد من قعر الحوض ويخرج من أسفل الجزء الأسطواني من الحوض (الشكل 6 – 40).

تتوزع المياه على أحواض التهوية الآلية بعد إجراء عملية التوسع وإنشاء هذه الأحواض الثلاثة، أما عمل المحطة حتى عام 2011 فقد كانت المياه الخارجة من حوض الترقيد الأولي تصب مباشرة في حوض التهوية الطبيعية .

يحتوي حوض التهوية الآلي ثلاث مهويات ميكانيكية وكل مهوية لها أربعة أذرع متحركة قادرة على تحريك سطح الماء ونثره لينحل الأكسجين الهوائي داخل الوسط المائي ويزيد من سرعة المعالجة الحيوية الهوائية، ويبلغ زمن البقاء للماء في حوض التهوية الآلي نحو 3.5 يوما" تقريبا".

تخرج المياه من أحواض التهوية الآلية إلى قناة جامعة توزع تلك المياه بالتساوي تقريبا" على ثلاثة من أحواض التهوية الطبيعية، التي بدورها تخرج من آخر الحوض لتصب في الحوض الذي يليه (ثلاثة أحواض بالترتيب)، تتميز أحواض التهوية الطبيعية بسطوح واسعة وسماكة قليلة نسبيا"(السماكة الأعظمية 130 سم) مما يسمح للضوء باختراق تلك الطبقة وتأمين شروط المعالجة الحيوية للبكتريا من جهة وللطحالب من جهة أخرى، إن زمن مكوث الماء في حوض التهوية الطبيعية بحدود 13 يوما"، مما يعطي نتائج جيدة في المعالجة الحيوية الذاتية.

تتجمع المياه الخارجة من الأحواض الأخيرة ضمن قناة التجميع، التي توزع تلك المياه المعالجة على شبكة الري المنفذة لتروي نحو 100 هكتار من الأراضي الزراعية المجاورة للمحطة بالراحة ودون استعمال أي عملية ضخ، ويطبق على هذا المشروع نظام الري المقيد (ري المحاصيل الصناعية كالقطن ودوار الشمس وغيرها).

هـ) فعالية عملية المعالجة:

تجرى التحاليل كل عشرة أيام للمياه الداخلة والمياه المعالجة الخارجة من المحطة، ونورد في الجدول (6 – 17) مجال مواصفات مياه الصرف خلال عام 2011.

الجدول 6 – 17: مواصفات مياه الصرف لمدينة السلمية.

المعامل	DBO_5	DCO	$N\text{-}NH_3$	NO_3^-
المجال (مغ / لتر)	705 – 210	795 – 360	123 – 55	68 – 17
المتوسط (مغ / لتر)	473	558	91	45

أما مواصفات المياه المعالجة فقد اختلفت بعد إضافة أحواض الأكسدة الآلية، وتضاعفت فعالية المعالجة الحيوية، ونورد فيما يلي قيما" وسطية للمعاملات الأساسية قبل التعديل وبعده (الجدول 6 – 18) وذلك خلال عامي 2010 و 2011.

الجدول 6 – 18: مواصفات المياه المعالجة ونسبة الإزالة لبعض المعاملات قبل التعديل وبعده.

المعامل	DBO_5	DCO	$N-NH_3$	NO_3^-
المتوسط قبل التعديل (مغ / لتر)	110	376	67.5	11
نسبة الإزالة قبل التعديل %	75	33	26	75.5
المتوسط بعد التعديل (مغ / لتر)	21	206	55	10
نسبة الإزالة بعد التعديل %	95.5	63	40	78

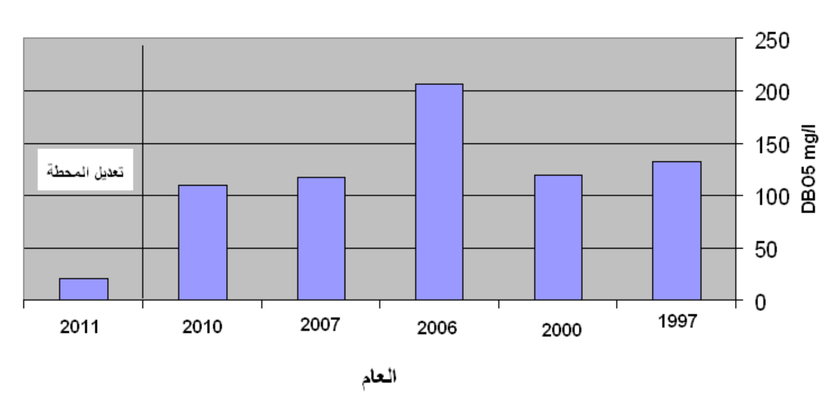
يلاحظ بشكل واضح أن نسبة الإزالة للطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO_5) بوساطة أحواض الأكسدة الطبيعية بحدود (75%) وهي نسبة مقبولة ضمن شروط المحطة المصممة أصلا لتدفق يعادل نصف التدفق الفعلي، وينطبق ذلك على الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO)، وتكون النسبة بينهما:

$$\frac{DBO_5 \text{ (المزالة)}}{DCO \text{ (المزالة)}} = 2.3$$

وتتفق هذه القيمة مع طريقة المعالجة الحيوية المفككة للمواد القابلة للتحلل الحيوي.

أما تأثير عملية التعديل على المحطة بإضافة أحواض تهوية آلية فإنه واضح تماما في رفع مردود المحطة من خلال القيم الواردة في الجدول (6 – 18).

ويعطي الشكل (6 – 45) المتوسط السنوي لقيمة DBO_5 للماء المعالج الخارج من المحطة منذ إنشائها حتى الآن .



الشكل 6 – 45: متوسط قيم DBO_5 السنوية للمياه المعالجة الخارجة من المحطة.

و) تجفيف الحمأة:

تخرج الحمأة السائلة من قعر أحواض الترقيد الأولي تحت تأثير ضغط عمود الماء، ودون الحاجة لاستعمال مضخة، وتصب في أحواض التجفيف، وبفعل الرياح وأشعة الشمس تتم عملية التجفيف للحمأة، ولذلك هناك رائحة كريهة في هذا الجزء من المحطة، وتوزع الحمأة الجافة على المزارعين لاستعمالها كسماد للزراعة.

يعطي الشكل (6 – 46) صورة بالأقمار الصناعية للمحطة.



الشكل 6 – 46: صورة للمحطة بالأقمار الصناعية.

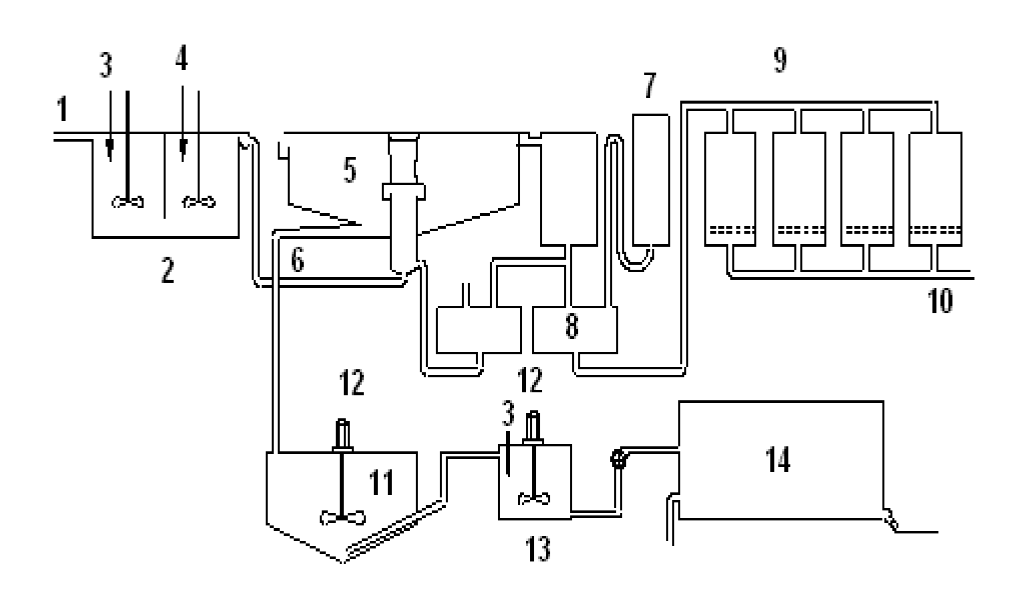
6. 5. 6 طريقة الجمع بين المعالجتين الفيزيائية الكيميائية والحيوية:

تطبّق المعالجة الفيزيائية الكيميائية على نحو مستقل أو كمرحلة أولية تسبق المعالجة الحيوية. وتبدو بمفردها معالجة جزئية لمياه الصرف، بينما تعمل على رفع مردود المعالجة عند جمعها مع المعالجة الحيوية، وتستعمل المعالجة الفيزيائية الكيميائية ضمن محطة المعالجة دوما"، أو آنيا" عند ازدياد درجة التلوث أو زيادة الحمولة، وهذه الحالات تحدث باستمرار في المناطق السياحية، حيث يُلاحظ اختلاف كبير بين كمية المياه المتدفقة على المحطة ودرجة تلوثها بين فصل الصيف وبقية فصول السنة.

وظل تطور هذه الطرائق محدودا" ومجال استعمالها بقي منحصرا" بمياه الصرف الصناعية لعدم جدوى تطبيقها على مياه المجارير العامة الثابتة بدرجة تلوثها، أضف إلى ذلك ارتفاع تكاليف المعالجة الفيزيائية الكيميائية ونشوء كميات كبيرة من الحمأة المحملة بالمواد الكيميائية، ورغم ذلك فإن تطبيقها عرف انتشارا" لا بأس به في بعض المجالات وخاصة في حالة مياه الصرف

المكونة من مخلفات صناعية ومخلفات بشرية، أو لمياه الصرف غير المستقرة في تدفقاتها ودرجة تلوثها.

يعطي الشكل (6 – 47) مخططا" لمحطة نموذجية لمعالجة مياه الصرف، حيث إنها تتضمن المعالجة الفيزيائية الكيميائية باستعمال المخثرات المعدنية أو البوليميرية، متبوعة بالمعالجة الحيوية على مرحلتين، وتشمل المرحلة الأولى المعالجة بحوض التهوية (الحمأة المنشطة) المغذى بالأكسجين ضمن آلية حقن جزء من الماء الخارج من حوض التهوية بالأكسجين وإدخاله إلى حوض التهوية من الأسفل مع الماء الخام، ويتضمن هذا الحوض إمكان سحب الحمأة الراسبة والحمأة الطافية، بينما تشمل المرحلة الثانية المرشحات البكترية، وتحتوي المحطة أيضا سلسلة متكاملة لمعالجة الحمأة المنشطة الناتجة وتحويلها إلى سماد جاف.



1– ماء الصرف الخام، 2– حوض التكتل، 3– كواشف، 4– مكتلات، 5– حوض التهوية والترقيد والتعويم بالأكسجين، 6– الحمأة المنشطة، 7– أكسجين، 8– ضاغط، 9– مرشحات بكترية، 10– مياه معالجة، 11– حوض للحمأة، 12– رائق الكلس، 13– حوض التعديل، 14– ترشيح بالضغط للحمأة .

الشكل 6 – 47: مخطط محطة المعالجة لمياه الصرف تتضمن معالجة فيزيائية كيميائية وحيوية بالأكسجين، إضافة إلى معالجة الحمآة.

6.6 معالجة مياه الصرف الصناعية:

تشترك مياه الصرف المنزلية بخواص متقاربة ولا تختلف كثيرا من مدينة لأخرى، مما يسهل تعميم عمليات معالجتها، بينما يختلف وضع مياه الصرف الصناعية، حيث تختلف المخلفات الصناعية من صناعة لأخرى نتيجة اختلاف المواد الأولية الداخلة في الصناعة والمواد الناتجة أو المصنعة، هناك ضوابط عامة لطرح مياه الصرف الصناعية في المجارير العامة، أو لاستعمالها في ري المزروعات، وتتمثل تلك الضوابط بتحديد محتوى مياه الصرف من (DBO_5 ,DCO ,MES)، غير أن تلك الشروط غير كافية لمياه الصرف الصناعية ويجب إضافة شروط خاصة بكل نوع من الصناعة للتأكد من غياب الملوثات أو المواد الضارة المعدنية والعضوية المستعملة في تلك الصناعة، ومن الصعب وضع قواعد دقيقة، وإن وجدت شروط عامة لطرح مياه الصرف في المياه السطحية (ملحق 3).

يجب الإلمام ببعض المعلومات الهامة الخاصة بنوعية مياه الصرف قبل تطبيق طريقة المعالجة عليها، ومن أهم تلك المعلومات:

- معرفة الملوثات الموجودة في المياه المراد معالجتها وتحديد مدى تأثيرها في البكتريا، ومدى تأثرها بالكواشف الكيميائية المستعملة في معالجة المياه.
- خواص مياه الصرف والمركبات الكيميائية المنحلة أو المعلقة بها.
- طريقة تنظيم المجارير داخل المنشأة الصناعية، ومعرفة إذا كانت مياه الصرف الحضرية مفصولة عن الصناعية أم مجتمعة معها. وبناء عليه يوضع مخطط للمعالجة اعتمادا" على طرائق التصفية الفيزيائية الكيميائية بمفردها، أو الطريقة الحيوية فقط أو الجمع بينهما.

تصنف الملوثات الموجودة في مياه الصرف تبعا لطريقة معالجتها:

- مواد تفصل بالتعويم: كالزيوت والشحوم والهيدروكربونات التي تفصل جميعها بالتعويم.
- مواد تفصل بالترسيب: تفصل المواد المعلقة والغروية بالتكتل والترسيب مثل الرمل وأكاسيد المعادن وهيدروكسيدات المعادن والكبريت الغروي واللبن النباتي (Latex) وغيرها. وترسب المعادن السامة في التحكم بقيمة pH الوسط، بحيث تتحول إلى مركبات راسبة ضمن ذلك المجال، (Al , Ti , Be , Ni , Zn , Cu , Fe , Cr , Hg , Pb).
- مواد عضوية تفصل بالامتزاز: يُمتز بعض المواد العضوية المنحلة في مياه الصرف على سطح بعض المواد المازة، وخاصة الفحم المنشط، ومن تلك المواد القابلة للامتزاز والمستعملة على نطاق واسع في الصناعة: المواد الملونة والمنظفات والجزيئات الضخمة والمركبات الفينولية.

- مواد تفصل تحت الفراغ: تفصل المواد القابلة للتبخر تحت الفراغ، مثل كبريت الهيدروجين والأمونيا و الكحولات والفينولات وغيرها.
- عناصر تفصل بالأكسدة والإرجاع: تستعمل بعض المؤكسدات القوية أو المرجعات القوية للتخلص من الكثير من الملوثات القابلة للأكسدة أو الإرجاع أو على الأقل التخلص من سميتها في بعض الأحيان، ونذكر على سبيل المثال تحويل السيانيد والكروم السداسي والكبريت والنتريت وغيرها.
- عناصر تزال بالمبادلات الشاردية: يزال بهذه الطريقة العديد من الشوارد السامة أو الضارة أو بهدف تخفيض تركيز شوارد معينة ليس لها دور ضار بالصحة، ولكن قد يكون لها دور سلبي على مراحل المعالجة اللاحقة، ونذكر على سبيل المثال شوارد النترات وشوارد المعادن الثقيلة وشوارد بعض الملوثات العضوية والحموض والأسس وغيرها.
- عناصر تزال باستعمال الأغشية: تطورت في السنوات الأخيرة عملية استعمال الأغشية في إزالة المركبات السامة والملوثة من مياه الصرف الصناعية، وخاصة الملوثات التي تعجز عن إزالتها الطرائق الأخرى الأقل كلفة، وتتعلق نوعية المواد المزالة بأبعاد مسام الأغشية المستخدمة.
- مواد تزال بالمعالجة الحيوية: تتحلل بالطرائق الحيوية كافة المركبات القابلة للتفكك الحيوي مثل السكر والبروتينات والفينولات، ويمكن معالجة مركبات أخرى مختلفة بعد إجراء عملية تنمية للبكتريا المناسبة لتلك المركبات (فورمول، أنيلين، منظفات).

ونعرض فيما يأتي مواصفات مياه صرف صناعية وطرائق المعالجة المطبقة، ونظرا لاستحالة التعرض إلى كل أنواع الصناعات الموجودة حاليا، فإننا نذكر أهم تلك الصناعات وخاصة المتميزة باستهلاكها لكميات كبيرة من الماء والمنتشرة في البلدان النامية.

6. 6. 1 الصناعات الغذائية:

تتميز مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الغذائية بحمولتها العالية من المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي، وتشترك بهذه الصفة مع مياه الصرف المنزلية، وتختلف نوعية المركبات الكيميائية المطروحة باختلاف الصناعة، ونظرا لأن معظم الصناعات الغذائية موسمية، فإن تدفق مياه الصرف الناتجة عنها غير ثابت ومرتبط بفترات العمل، وهذا ما يطرح مشكلة جدية عند اختيار طريقة المعالجة وخاصة في حالة المعالجة الحيوية.

آ) صناعة الحليب ومشتقاته:

يختلف تركيب مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب ومشتقاته باختلاف مصدرها، حيث تعطي مصانع التعقيم والتعبئة مياه صرف حاوية على الحليب بشكل ممدد والناتج عن عمليات الغسل للأجهزة مع وجود الحمض المعدني (حمض الآزوت) أو الصود الكاوي المستعملَين في عمليات الغسيل، بينما تعطي مصانع الجبن مياها" غنية بمركبات اللاكتوز والبروتين وغيرها، ويختلف تدفق وتركيب مياه الصرف أيضا باختلاف شروط عملية التصنيع من تسرب للحليب أو طرح مياه التبريد مع مياه الصرف أو معالجة الحليب، ويكفي أن نعلم أن قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين للحليب الكامل الدسم تبلغ 100 غرام للتر الواحد، ويعطي الجدول (6 – 19) مجالات قيم (DBO_5) لمياه الصرف الناتجة عن مختلف الصناعات القائمة في معامل الحليب ومشتقاته.

الجدول 6 – 19: قيم DBO_5 لمياه الصرف الناتجة عن صناعات الحليب ومشتقاته

النشاط الصناعي	مسحوق الحليب	زبدة ومسحوق الحليب	زبدة	جبن	تعبئة الحليب
غرام من DBO_5 الناتجة عن معالجة 100 لتر من الحليب	100 – 300	370 – 630	100 – 300	650 – 1050	350 – 750

.

1- حجم مياه الصرف وتركيبها:

في داخل مصنع الحليب ومشتقاته ثلاثة أنواع لمياه الصرف هي:

- مياه الصرف الصناعية الملوثة.
- مياه الصرف الناتجة عن المغاسل والمراحيض.
- مياه التبريد الغير ملوثة.

تبلغ كمية مياه الصرف الملوثة 0.5 إلى 3 مرات من كمية الحليب المعالج ضمن المصنع، بينما تبلغ كمية المياه المستعملة للتبريد 2 إلى 4 مرات من كمية الحليب المعالج، وتحتوي مياه الصرف الناتجة عن صناعة الحليب ومشتقاته مواد مختلفة مثل الزلال (Albumines) والجسيمات الدسمة غير المنحلة واللاكتوز المنحل وغيرها، ونورد في الجدول (6– 20) تركيب الحليب.

الجدول 6 – 20: تركيب الحليب (تقريبي).

المادة	ماء	جبنين وزلال	مواد دسمة	لاكتوز	بقايا
النسبة المئوية %	88	3.2	3.5	4.5	0.8

ونورد في الجدول (6 – 21) متوسط النتائج المستحصل عليها من خلال تحاليل عديدة أجريت على مياه الصرف لأحد معامل الحليب ومشتقاته.

الجدول 6 – 21: نتائج تحليل مياه الصرف للأقسام المختلفة ومياه الصرف الكلية لمصنع الحليب.

مصدر مياه الصرف	تصنيع الحليب	تصنيع الزبدة	تصنيع الجبن	مياه الصرف المجتمعة
البقايا الصلبة الكلية مغ / لتر	4.6 – 1.5	7.5 – 0.4	16.2 – 1.2	3.1 – 1.2
الزلال مغ / لتر	1 – 0.2	2.9 – 0.02	2 – 0.4	0.38 – 0.34
المواد الدسمة مغ / لتر	1.1 – 0.3	0.6 – 0.1	0.5 – 0.3	0.35 – 0.24
لاكتوز مغ / لتر	1.4 – 0.2	1.6 – 0.02	9.4 – 0.1	0.92 – 0.35
pH	10.1 – 8.3	9.4 – 6.5	7.9 – 4.3	9.4 – 7.4
الأكسدة بالبرمنغنات مغ / لتر	7.2 – 2	13.5 –0.08	20.1 – 4	3.7 – 1.4

تحتوي مياه الصرف أيضا" على عناصر مغذية للنباتات مثل الآزوت (30 مغ / لتر) وحمض الفُسفور (3 مغ / لتر من P_2O_5) و أكسيد البوتاسيوم (3.4 مغ / لتر) بالإضافة إلى عناصر أخرى، وتتراوح قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين بين 0.2 إلى 6 غ/ لتر. وتتميز مخلفات مصانع الحليب بتحولها السريع إلى حموض خلال عملية التخمر، ويساعد على ذلك التحول وجود اللاكتوز الذي يتحول إلى حمض اللاكتيك والبوتيريك، مما يؤدي إلى انخفاض قيمة pH الوسط إلى القيمة 2 أحيانا" ويجعل الوسط شديد الحموضة. إن تكوّن تلك الحموض العضوية في مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب يؤدي إلى تغيير كبير في النسبة بين الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين والأكسدة بالبرمنغنات، فبينما تبلغ تلك النسبة

(1 / 1.8) في مياه الصرف لمصانع الحليب فإنها بحدود (1 / 4) في مياه الصرف للمجارير العامة، ونظرا لأهمية تلك النسبة في عملية معالجة مياه الصرف تؤخذ في الحسبان في أثناء تصميم محطة المعالجة .

2– طرائق المعالجة:

تعالج مياه الصرف لمعامل الحليب ومشتقاته بطرائق عديدة أهمها:

- استعمالها بري الأراضي الزراعية:

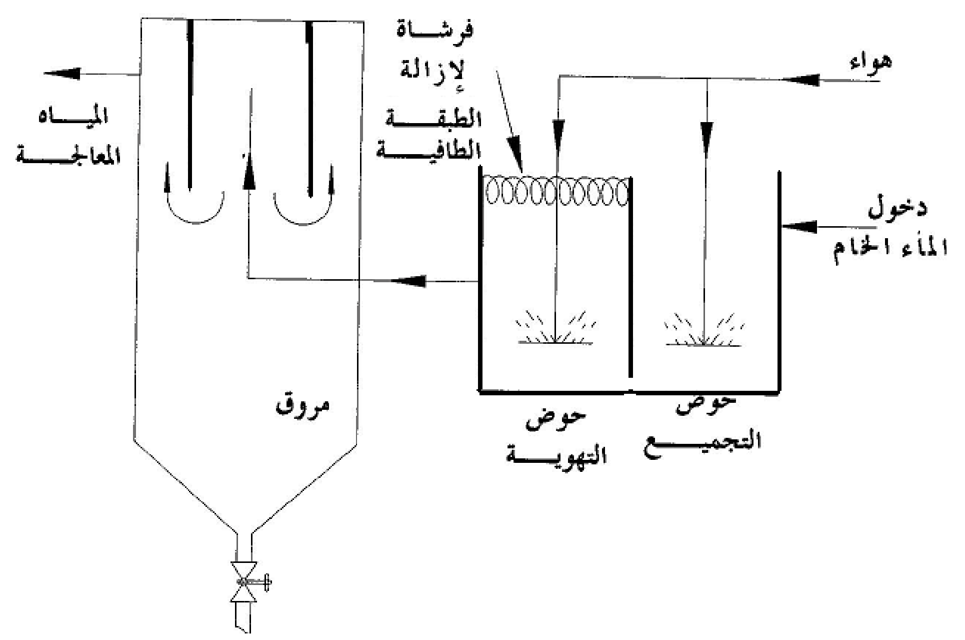
تستعمل مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب مباشرة أو بعد إجراء معالجة أولية لها، وتتميز بإعطاء مردود زراعي ممتاز لاحتوائها على مواد مغذية للنباتات، ولكن لابد من تأمين شروط محددة لاستعمالها، كوجود المعمل قرب الحقل الزراعي وفترة تخزين المياه يجب ألا تتجاوز خمس ساعات لتجنب حدوث تحولات كيميائية حيوية تؤدي إلى إعطاء حموض عضوية وتحويل الوسط المائي إلى وسط حمضي. يفضل مزج الماء الناتج عن الأقسام المختلفة مع مياه المجارير العامة للمصنع قبل استعمالها في الري، وتجرى عملية معالجة أولية لمياه الصرف الصناعية قبل استعمالها في ري المزروعات، وقد تنحصر عملية المعالجة بإمرارها على شبك معدني أبعاد ثقوبه لا تتجاوز 10 ميلي متر، وتستعمل أحيانا" حفرة التعفن للمعالجة.

- التصفية الحيوية باستعمال المرشح البكتري:

تطبق طريقة المعالجة بوساطة المرشح البكتري وباستعمال مرشح وحيد للمصانع الصغيرة، أو مرشحين يفصل بينهما حوض ترقيد، مما يرفع من قدرة المحطة على المعالجة. وتكون استطاعة المعالجة بطريقة المرشح البكتري بحدود 0.3 كيلوغرام من (DBO_5) للمتر المكعب الواحد من حجم المرشح يوميا"مع إعطاء مياه مصفاة على نحو جيد، ويمكن رفع المردود بإمرار جزء من المياه المصفاة مرة ثانية على المرشح بعد مزجها بالماء الخام الداخل إليه.

- طريقة الحمأة المنشطة:

تتميز مياه الصرف لمصانع الحليب باحتوائها على مواد سريعة التحلل الحيوي وتكون كميات كبيرة من الحمأة، مما يتطلب إدخال بعض التعديلات على أحواض التهوية، ويوضح الشكل (6 – 48) مخططا" لمحطة معالجة مياه الصرف لمصنع حليب ومشتقاته بطريقة الحمأة المنشطة.



الشكل 6 – 48: مخطط محطة معالجة مياه الصرف لمصنع الحليب بطريقة الحمأة المنشطة.

يحسب حجم حوض التهوية بحيث يسمح للماء بالبقاء داخله يوما" كاملا"، ويكون مسبوقا" بحوض التجميع المساوي له بالحجم، وتحدث عملية تغذية الحوضين بالهواء باستمرار. يتراوح مردود التصفية بطريقة الحمأة بين 96% إلى 99% من قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين .

- طريقة التهوية:

تجرى عملية تهوية لمياه الصرف خلال فترة زمنية تتراوح بين 5 إلى 6 ساعات، دون استعمال الحمأة المنشطة، وتعطي هذه الطريقة تصفية جزئية لمياه الصرف يصل مردودها إلى 70% من قيمة الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين.

- طريقة الترشيح باستعمال التربة:

تستعمل هذه الطريقة بشكل محدود في معالجة مياه الصرف الناتجة عن مصانع الحليب لكونها تؤدي إلى انطلاق روائح كريهة جدا" ولاسيما في فصل الصيف.

ب) صناعة حفظ الخضار والفواكه:

1 – حجم مياه الصرف وتركيبها:

تعمل مصانع الخضار والفواكه خلال فترات محددة من السنة (موسمية) وتطرح نوعين من مياه الصرف:

- النوع الأول: مياه غسيل الخضار والفواكه وتكون درجة تلوثها خفيفة جدا".
- النوع الثاني: المياه القادمة من أحواض الطهي والغلي وتكون درجة تلوثها عالية وتختلف من صناعة إلى أخرى.

ويعطي الجدول (6 – 22) كمية ودرجة تلوث مياه الصرف الناتجة عن بعض الصناعات الغذائية .

الجدول 6 – 22 : كمية ماء الصرف الناتج عن بعض صناعات حفظ الفواكه والخضار ودرجة تلوثه.

الصناعة	درجة التلوث (غرام من DBO_5 لكل كغ من المادة المنتجة)	كمية الماء ($م^3$) الناتجة عن تصنيع 1طن
فاصوليا خضراء	3 – 5	12
فاصوليا بيضاء	5 – 7.5	–
جزر	18 – 20	6.5
بازلاء	15 – 18	7
سبانخ	25 – 30	5.5
عصير البندورة	6	4.3
فطر	20	–
عصير الفواكه	3 – 6	–

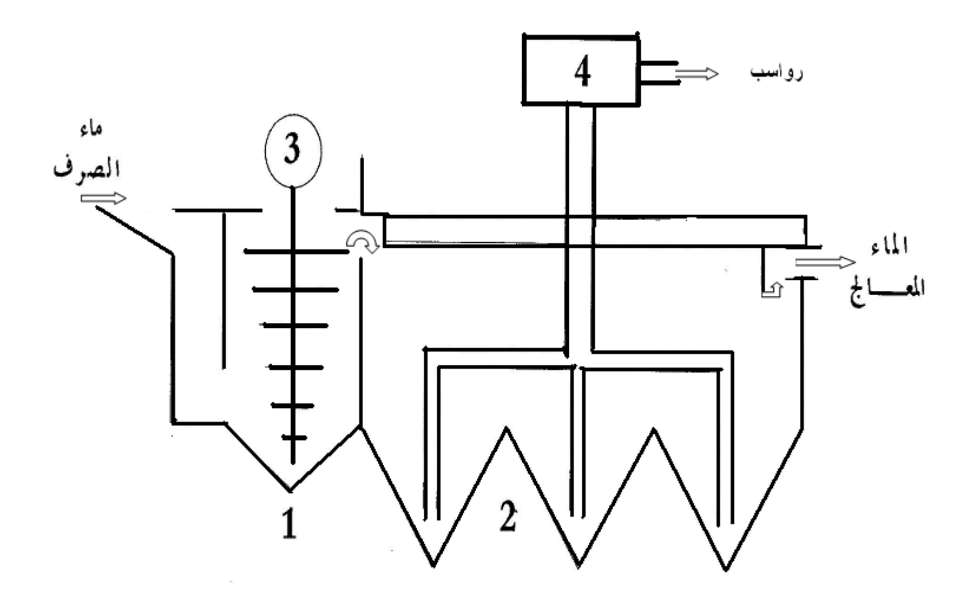
تتمتع مياه الصرف باحتوائها على الآزوت والسكريات بتراكيز عالية، ولكنها تفتقر للفُسفور الكافي لعملية المعالجة الحيوية، ويعطي الجدول (6 – 23) نموذجا" لتحليل مياه الصرف الناتجة عن مصنع لحفظ الخضار والفواكه، علما أن تلك القيم تختلف من مصنع إلى آخر تبعا" للتقنية المستعملة في عملية الطهي والتعليب.

الجدول 6 – 23: نموذج لتحليل مياه الصرف الناتجة عن بعض صناعات حفظ وتعليب الخضار والفواكه.

نوع الصناعة	مواد معلقة مغ / لتر	مواد منحلة مغ / لتر	أكسدة بالبرمنغنات مغ / لتر	pH	DBO_5 مغ / لتر
عصير البندورة	450	2500	1100	4.9	1150
بازلاء	300	6000	2150	4.7	2710
فاصولياء خضراء	60	1670	–	7.6	240
سبانخ	580	1700	40	7.0	280
جزر	1830	5800	–	7.1	1110
دراق	600	–	2000	7.6	1400
مشمش	260	–	700	7.6	200

2– طرائق المعالجة:

تجري عملية غربلة لمياه الصرف باستعمال شبك معدني ذي ثقوب أبعادها 0.6 مليمتر كمرحلة أولى من المعالجة، تلي عملية الغربلة مرحلة الترقيد، ويضاف خلالها أحيانا" كواشف كيميائية لإحداث حالة تكتل وزيادة في سرعة الترسيب، وتتضمن تلك الكواشف الكيميائية الكلس الحي بمفرده أو يضاف إليه مركبات الحديد أو الألمنيوم (المخثرات)، وتعرف تلك المرحلة بالمعالجة الفيزيائية الكيميائية، ويعطي الشكل (6 – 49) مخططا" لطريقة التصفية الفيزيائية الكيميائية واسعة الانتشار.



1– حوض المزج مع التحريك، 2– حوض الترقيد، 3 – خلاط، 4 – مضخة سحب الرواسب.

الشكل 6 – 49: مخطط لمحطة التصفية الفيزيائية الكيميائية لمياه الصرف لمصنع حفظ الخضار والفواكه.

يدخل الماء إلى حوض المزج المجهز بخلاط بطيء الحركة، ويضاف إلى هذا الحوض الكلس الحي والكواشف الكيميائية الأخرى، يكون زمن البقاء في هذا الحوض نحو 15 دقيقة مع التحريك البطيء، ويصب الماء الخارج في حوض الترقيد المصمم على أساس مكوث الماء ضمنه يتراوح بين 30 إلى 60 دقيقة. ويحدث في هذا الحوض عملية الفصل بين الماء الصافي الخارج من الجهة المقابلة، وبين الرواسب التي تستقر في قاع الحوض وتسحب كل فترة بوساطة مضخة خاصة بذلك.

يمكن إجراء عملية المعالجة الحيوية بعد المعالجة الفيزيائية الكيميائية، ويستعمل المرشح البكتري بشكل عام، لأن طريقة حوض التهوية لا تتناسب مع الصناعات الموسمية، لاستحالة الاحتفاظ بالحمأة المنشطة خلال فترة توقف المعمل.

تستعمل طريقة المعالجة بالتربة أيضا" بعد مزج ماء الصرف الناتج عن صناعة حفظ الخضار والفواكة مع نسبة من المياه النقية أو مياه المجارير العامة، ولكن في هذه الحالة لابد من مرحلة الغربلة.

ج) مصانع حفظ اللحوم والمسالخ:

تختلف درجة تلوث مياه الصرف الناتجة عن المسالخ باختلاف عدد الحيوانات المذبوحة يوميا"، وباختلاف طرائق التخلص من البقايا السائلة والصلبة الناتجة كالدم والأحشاء والمخلفات الأخرى، يوضح الجدول (6 – 24) نموذجا لمياه الصرف الناتجة عن أحد المسالخ الكبيرة.

الجدول 6 – 24: نموذج لتحليل مياه الصرف لأحد المسالخ الكبيرة.

نوع التحليل	الوحدة	النتائج
المواد القابلة للترقيد	مليلتر / لتر	11
مواد غير منحلة	مغ / لتر	580
الباقي الثابت من المواد غير المنحلة	مغ / لتر	82
المواد المنحلة	مغ / لتر	1206
الباقي الثابت من المواد المنحلة	مغ / لتر	272
مواد شحمية	مغ / لتر	108
آزوت	مغ / لتر	145
حمض الفُسفور (P_2O_5)	مغ / لتر	19
البوتاس (K_2O)	مغ / لتر	29
الكلس الحي (CaO)	مغ / لتر	131
أكسدة بالبرمنغنات	مغ / لتر	154
DBO_5	مغ / لتر	838
pH		7.4

تعطي مصانع حفظ اللحوم مياه صرف ناتجة عن مسالخ تكون ضمن المصنع، إضافة إلى المياه الناتجة عن معالجة اللحوم قبل تعليبها، ويجب معالجة مياه الصرف الناتجة عن المسالخ بالغربلة ثم الترقيد والتعويم قبل طرحها في مياه المجارير العامة، مما يخفض من تلوثها بنسبة 15% تقريبا.

تسترجع المواد الدسمة والبروتينات من مياه الصرف لاستعمالها في صناعة الصابون، وتجري عملية الاسترجاع بوساطة أحواض التعويم، كما يمكن استعمال المواد الناتجة عن تلك العملية كغذاء للحيوانات.

تعطي مياه الصرف الناتجة عن المسالخ ومصانع اللحوم نتائج جيدة في المعالجة الحيوية لها، غير أن احتواءها على نسبة عالية من المواد الدسمة يؤدي إلى صعوبات في حالة استعمال

طريقة المرشحات البكترية، فتلك المواد تكوّن طبقة على سطح المرشح وترفع من قيمة الضغط الخلفي، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في فعالية المرشح البكتري.

د) صناعة السكر :

هناك ثلاثة مصادر أساسية للتلوث المائي في مصنع السكر:

- المياه المستعملة لغسل وتنظيف الشوندر السكري.
- المياه الناتجة عن معالجة الشوندر السكري.
- المياه الناتجة عن عمليات تجديد المبادلات الشاردية المستخدمة في خطوط إنتاج السكر (إزالة التمعدن من عصير السكر).

تتكون الملوثات القادمة من تنظيف الشوندر من مواد معلقة قابلة للترقيد، ولذلك يجري التخلص منها بإجراء عملية ترقيد لمياه الغسيل، ويمكن إضافة مرحلة غربلة على شبك معدني وحوض خاص لإزالة الرمل قبل عملية الترقيد، مما يرفع مردود التصفية، أحيانا" تضاف وبحسب الحاجة المواد المخثرة إلى حوض الترقيد ممزوجة بالكلس الحي لرفع مردود التصفية، حيث يمكن استعمال المياه المصفاة مرة أخرى بعملية غسيل الشوندر السكري (إعادة تدوير الماء).

ترتفع نسبة المواد القابلة للتخمر في مياه الصرف الصناعية باستمرار في أثناء تخزينها، وقد تبين أن قيمة(DBO_5) ترتفع يوميا"بمعدل (70 مغ / لتر)، مما يؤدي إلى تجاوز القيمة 3 غ / لتر في نهاية موسم العمل.

تستعمل طريقة التخمر اللاهوائي لإزالة التلوث العضوي من ماء الغسيل بجمعها في أحواض كبيرة وتركها الفترة الفاصلة بين موسمين متتاليين، وتعدّ هذه الطريقة اقتصادية، ولذلك فإنها تستعمل على نطاق واسع رغم وجود بعض المساوئ لها، مثل الرائحة الكريهة الصادرة عن تلك الأحواض والحاجة إلى مساحات كبيرة لبناء تلك الأحواض، ولذلك يجري استعمال أحواض التهوية في بعض الحالات تجنبا" للسلبيات السابقة، ويلخص الجدول (6 – 25) تغيرات قيمة (DBO_5) لحوض التخمر اللاهوائي خلال أشهر السنة التي يتوقف خلالها مصنع السكر عن العمل.

الجدول 6 – 25: تغيرات قيمة DBO_5 خلال أشهر السنة لمياه غسيل الشوندر السكري المجمعة في حوض التخمر اللاهوائي.

فترة التخزين (شهر)	3	4	5	6	7	8	9	10
DBO_5 (مغ / لتر)	1239	1169	847	719	546	284	106	38

يلاحظ من خلال نتائج التحليل الواردة في الجدول أعلاه انخفاض التلوث العضوي بنسبة مرتفعة ليصل إلى قيمة زهيدة في بداية موسم العمل اللاحق، وبالتالي يصبح بالإمكان استعمال الماء من جديد في عملية غسيل الشوندر.

تجرى عملية تقطير داخل مصانع السكر للتخلص من دبس الشوندر السكري (Mélasse de Betterave)، ويخرج مع مياه الصرف على نحو مركز مما يعطي تلك المياه درجة عالية من التلوث الحيوي حيث تتراوح قيمة DBO_5 بين 5 إلى 10 غرام / لتر، وتعالج تلك المياه بوساطة جهاز الطرد المركزي (المثفلة) لفصل دبس الشوندر الذي يستعمل كعلف للحيوانات، أما مياه الصرف الناتجة فإنها تعالج باستعمال مرشح بكتري وهو يعطي مردودا" جيدا"، ولاسيما أن درجة حرارة الماء تكون مرتفعة مما يرفع فعالية التحولات الحيوية، ويستعمل عادة المرشح البكتري ذو الطبقات المتعددة، وأحيانا" تضاف مرحلة التخمر الهوائي أو اللاهوائي للمرشح البكتري بهدف إتمام عملية المعالجة والتخلص النهائي من دبس الشوندر والمواد الكحولية الأخرى الناتجة عن عملية تصنيع السكر.

هـ) مصانع الزبدة والسمن والزيوت:

تتكون المواد الأولية المستعملة في مصانع الزبدة والسمن والزيوت من المواد الدهنية الصلبة والزيوت الدسمة الحيوانية أو النباتية، وهي مزيج من الغليسيريد والحموض الدسمة، وتحتوي تلك المواد كميات صغيرة من الملونات والعطريات. يستعمل حمض الكبريت للتخلص من المركبات الآزوتية وكذلك هيدروكسيد الصوديوم للتخلص من الحموض الدسمة الحرة، وتجرى داخل المصنع عمليات غسيل بالماء أو البخار للمنتج لتخليصه من حمض الكبريت أو هيدروكسيد الصوديوم أو المواد الأخرى المستعملة في عملية التصنيع.

تتضمن مياه الصرف مياها" حمضية أو قلوية ناتجة عن عمليات الغسيل وعن تكاثف البخار المشبع بالروائح، وتتضمن بقايا المواد الأولية المستعملة في عملية التصنيع أو المواد المصنعة، وهذا الجزء الأخير من مياه الصرف يُعالج بمعزل عن الجزء الأول، حيث تُزال منه المواد الدسمة

بوساطة حوض إزالة الزيوت والمواد الطافية مع استعمال كواشف كيميائية مساعدة على التكتل والتعويم (كلس حي، كلور الكالسيوم، أملاح الألمنيوم أو الحديد، مساعدات عضوية،...،... .). وبعد فصل المواد الدسمة تعالج تلك المواد بالحرق للتخلص منها أو تستعمل في صناعات أخرى، مثل صناعة الصابون، أما المياه الخارجة من حوض الفصل فإنها تعالج ضمن حوض ترقيد (زمن المكوث ضمن الحوض من ساعة ونصف إلى ساعتين)، ويمكن استعمال تلك المياه في ري المزروعات بعد تعديل قيمة pH الوسط، وهذه المياه تتمتع بميزات مغذية للنباتات تفوق المياه الناتجة عن مصانع الحليب. أما في حالة عدم إمكانية استعمالها بالزراعة وطرحها في المجارير العامة فإنه يصبح من الضروري معالجتها بالطرائق الحيوية (بعد فصل الزيوت والمواد الطافية الأخرى) قبل طرحها في المجارير العامة.

6. 6. 2 صناعة الورق :

آ) صناعة عجينة الورق :

يختلف تركيب مياه الصرف الناتجة عن مصانع عجينة الورق باختلاف المادة النباتية الأولية المستعملة، وهناك عموما" أربع تقنيات لتحضير عجينة الورق هي:

– طريقة كرافت (KRAFT): تعتمد على الطبخ القلوي للخشب ($NaOH$, Na_2S) مما يسمح بإذابة 40% إلى 50% من المواد الجافة في الخشب، وتكون المركبات العضوية المنحلة في صورة سائل مع مياه الغسيل، ومن ثم تجرى عملية تبييض وتطرح المياه الملونة المستعملة في تلك العملية مما يجعلها مصدرا" للتلوث.

- طريقة ثنائي الكبريتيت (Biosulfite): يعامل الخشب بمحلول ثنائي الكبريتيت حيث يعطي عجينة بيضاء جاهزة مع مردود يصل إلى 50%.
- الطريقة النصف كيميائية: تعتمد هذه الطريقة على المعالجة الكيميائية المترافقة مع فعل ميكانيكي ويكون مردودها مرتفعا (75%).
- الطريقة الميكانيكية الحرارية التي تعطي أعلى مردود (95%).

1 – تركيب وخواص مياه الصرف الناتجة عن صناعة العجينة:

تستهلك صناعة عجينة الورق كميات كبيرة من الماء تتراوح بين 50 مترا" مكعبا" للطن الواحد من العجينة المصنعة بالطريقة الميكانيكية، إلى400 مترٍ مكعبٍ للطن الواحد من العجينة المصنعة بطريقة ثنائي الكبريتيت، وتحتوي مياه الصرف مواد معلقة مثل خيوط السليلوز والتراب وقطع الخشب وغيرها، كما وتحتوي مواد منحلة مختلفة تعطي قيمة للطلب الحيوي الكيميائي على

الأكسجين (DBO_5) تتراوح بين 100 إلى 500 مغ / لتر، كما وتتراوح قيمة الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) بين 300 إلى 4000 مغ / لتر، إضافة إلى كون المياه ملونة.

2– طرائق المعالجة:

تتطلب مياه الصرف الناتجة عن صناعة عجينة الورق الجمع بين مراحل مختلفة للمعالجة للتخلص من المواد المعلقة والمواد القابلة للتحلل الحيوي والمواد المنحلة الأخرى، لذلك يجب أولا" التخلص من المواد المعلقة بالغربلة والترقيد والتعويم، ثم تطبق طريقة حوض التهوية للتخلص من المركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي.

وتتبع تلك العمليات بمراحل أخرى مثل إجراء عملية امتزاز على الفحم المنشط أو التبادل الشاردي أو الترسيب الكيميائي وغيرها للتخلص من المركبات الكيميائية المنحلة وغير القابلة للتحلل الحيوي.

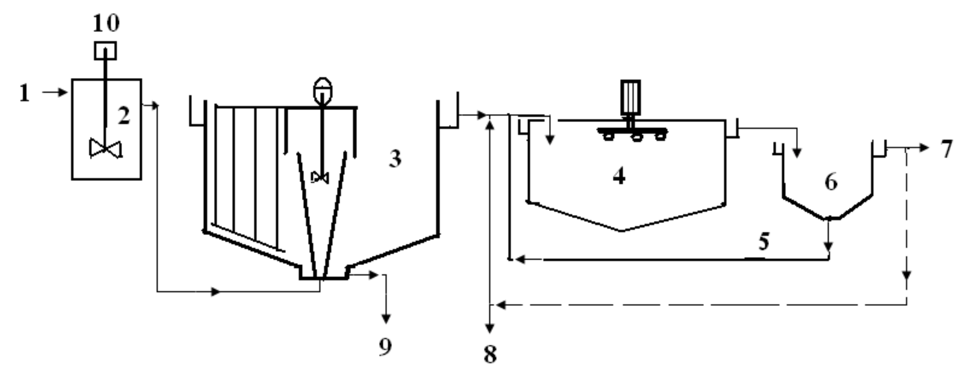
ب) صناعة الورق العادي والورق المقوى (الكرتون):

تتميز مياه الصرف الناتجة عن مصانع الورق العادي والورق المقوى بالآتي:

- يستهلك الطن الواحد من ورق الصحف والورق المقوى 30 مترا" مكعبا" من الماء، بينما يصل استهلاك الطن الواحد من الورق الأبيض إلى 200 متر مكعب ماء.
- تحتوي مياه الصرف على ملوثات غير منحلة مثل خيوط السليلوز وكربونات الكالسيوم والسيليس والنشاء وهيدروكسيد الألمنيوم وغيرها.

يتضح مما سبق أن صناعة الورق تستهلك كميات كبيرة من المياه وأن نوعية الملوثات المحمولة في مياه الصرف تتناسب والطرائق الفيزيائية والكيميائية للمعالجة، ويمكن إعادة استعمال المياه بعد معالجتها في عملية التصنيع، تستعمل طريقة التكتل بوساطة كبريتات الألمنيوم التي تتبع بعملية ترقيد أو تعويم للمواد المعلقة وللغرويات، تعالج المواد الطافية والراسبة ويعاد استعمالها من جديد في صناعة الورق أو تجفف وتطرح خارجا" تبعا" لنوعية الورق المصنع.

يوضح الشكل (6 – 50) مخططا" نموذجيا" لمحطة المعالجة المستعملة في مصانع الورق، وتتضمن المحطة معالجة فيزيائية كيميائية لمياه الصرف، كما يعالج قسم منها معالجة حيوية بعد المعالجة الفيزيائية الكيميائية، أما القسم الأخير فيعاد استعماله مباشرة في المصنع ودون معالجة حيوية. ويلخص الجدول (6 – 26) النتائج التحليلية لمياه الصرف الخام وللمياه التي جرت معالجتها في ثلاثة مصانع مختلفة وهي تنتج أنواعا" مختلفة من الورق المصنع.



1– دخول المياه الخام، 2– التعديل والمكتلات، 3– المرقد، 4– حوض التهوية، 5– الحمأة المعادة، 6– حوض الترويق، 7– مياه مقذوفة للمجارير العامة، 8 – مياه معادة للاستعمال، 9– الحمأة، 10 – خلاط.

الشكل 6 – 50: محطة معالجة مياه الصرف لمصنع الورق {10}.

الجدول 6 – 26: النتائج التحليلية لمياه صرف ناتجة عن مصنع للورق مع نظام معالجة يتضمن مرحلة فيزيائية كيميائية (عملية تكتل وترقيد) ومعالجة حيوية.

نوع الورق المصنع		أوراق التغليف والمقوى	الأوراق البيضاء	أوراق الصحف
الماء الخام مغ / لتر	MES	3000–300	700 –100	550
	DCO	1550	200	2700
	DBO_5	780	90	1230
الماء الخارج من حوض التكتل والترقيد مغ / لتر	MES	30	25 – 20	150
	DCO	1230	210–100	2500
	DBO_5	700	100 – 55	1110
الماء المعالج حيويا" مغ / لتر	MES	30	30	80
	DCO	150 – 100 (*)	50 (*)	300 (**)
	DBO_5	40 – 30	20	60

(*) حوض تهوية ، (**) حوض تهوية + مرشح بكتري.

6. 6. 3 صناعة النسيج:

تختلف نوعية مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج باختلاف الخيوط المستعملة (طبيعية أو صناعية)، وباختلاف طريقة الصباغة والمواد المستعملة بها.

آ) نوعية النفايات السائلة:

تشمل صناعة النسيج نوعين من العمليات هي:

- العملية الميكانيكية التي تعطي كميات صغيرة من المخلفات السائلة المتمثلة بالزيوت والشحوم المستعملة في الآلات الميكانيكية.
- إتمام عملية النسج (Finition Textile) التي تشمل عملية التبييض والصباغة والتطبيع، وتعطي كميات كبيرة من المخلفات السائلة والغنية بالملوثات، وأهمها:

▪ الملونات: النفتول، الملونات الكبريتية، وغيرها.

▪ الحموض العضوية والحموض المعدنية.

▪ القلويات (هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم)

▪ المواد المؤكسدة المستعملة في عملية التبييض: الماء الأكسجيني، وماء جافيل وثنائي كرومات البوتاسيوم وغيرها.

▪ المواد المرجعة: سولفيت الصوديوم.

▪ المواد الفعالة سطحيا: المنظفات والمواد المبللة.

▪ مواد الصقل: أميدون، كربوميتيل السليلوز وغيرها.

ويلخص الجدول (6 – 27) مجال المعاملات المختلفة لمياه الصرف الناتجة عن عملية إنهاء النسيج.

الجدول 6 – 27: مجال تغير مواصفات مياه الصرف الناتجة عن عملية إنهاء النسج.

المعامل	الوحدة	نتائج التحليل
التدفق	م ^{3} ماء /طن نسيج	80 - 400
pH		3 - 12
DCO	مغ / لتر	200 - 1200
DBO_5	مغ / لتر	60 - 400
MES	مغ / لتر	30 - 100
Cr^{+6}	مغ / لتر	2 - 4
S^{-2}	مغ / لتر	100

ب) طرائق المعالجة:

تعدّ دراسة توفير المياه المستعملة في صناعة النسيج إحدى العوامل الأساسية التي تؤخذ بالحسبان في أثناء التخطيط لإقامة مصنع للنسيج، وتعالج مياه الصرف بإزالة الخيوط والأجسام المعلقة بوساطة شبك معدني في المرحلة الأولى، ثم تزال الزيوت والشحوم في الحوض المخصص لذلك، وبعدها يمكن معالجتها بطرائق مختلفة أهمها:

1 - طريقة المعالجة الفيزيائية الكيميائية:

تشمل عملية المعالجة الفيزيائية الكيميائية مراحل متتالية تبدأ بتعديل الوسط متبوعة بمرحلة التخثر والتكتل باستعمال أملاح معدنية (أملاح الألمنيوم أو الحديد) أو مواد بوليميرية مع إضافة مساعدات التكتل، ثم مرحلة الترقيد وفصل المواد الراسبة، وتعطي هذه المراحل من المعالجة مردودا" يتراوح بين 35% إلى 75% من قيمة (DCO)، بينما يكون المردود ضعيفا لقيمة (DBO_5) التي تتراوح بين 10% إلى 30%، تطبق طريقة المعالجة الفيزيائية الكيميائية باستمرار على مياه الصرف الناتجة عن صناعة النسيج لاحتواء تلك المياه على مركبات سامة، وهناك سلبيات لتلك الطريقة، من أهمها تكوين كميات كبيرة من الرواسب التي لا تتمتع بأية قيمة اقتصادية ولا يمكن الاستفادة منها، ولذلك يجري تنشيفها باستعمال المرشح الضاغط أو المثقلة وتطرح في أماكن خاصة بالمخلفات الصلبة الصناعية.

2 - المعالجة الحيوية:

تستخدم طريقة أحواض التهوية (الحمأة المنشطة) لمعالجة المخلفات السائلة الناتجة عن صناعة النسيج، وتطبق بعد إزالة المواد السامة والمواد المثبطة للفعل الحيوي، بالمعالجة الفيزيائية الكيميائية، تعطي أحواض التهوية مردودا" عاليا" لقيمة (DBO_5) التي تتجاوز 80%، غير أن المردود لإزالة الألوان ضعيفٌ جدا" لأن المواد الملونة تتمتع بقابلية ضعيفة للتحلل الحيوي، وتعطي عملية جمع المعالجة الفيزيائية الكيميائية والحيوية مياها" قابلة للطرح مباشرة ضمن مياه الأنهار.

3 - طرائق المعالجة الخاصة:

يمكن متابعة عمليات المعالجة السابقة بإضافة مواد مازة (الفحم المنشط) لإزالة الألوان تماما"، إضافة إلى إزالة المركبات العضوية الأخرى، مما يفتح إمكان استعمال المياه المصفاة في عملية التصنيع (تدوير المياه) وتوفير كمية لا بأس بها من المياه اللازمة لعملية التصنيع.

6. 6. 4 صناعات التركيب العضوي (Synthèse):

تستعمل المركبات البسيطة الناتجة عن الصناعات البتروكيميائية مثل الإتيلين والبروبلين والبنزن والفينول والفورمول وغيرها في صناعات التركيب العضوي لإنتاج مركبات أكثر تعقيدا" من البوليميرات والمواد الفعالة سطحيا" والأصبغة والدهانات والمحلات والمواد اللاصقة والراتنجات (Résines) والمواد الصيدلانية وغيرها.

تمر تلك الصناعات في مراحل مختلفة منها الأكسدة والهدرجة ونزع الهيدروجين والألكلة والسلفنة والبلمرة، وتحتاج تلك العمليات إلى وسائط عضوية ووسائط معدنية (Pt , Cr , Th, Co , Cu , Zn , Ti) وإلى محاليل ملحية مرتفعة التركيز مما يعطي مياه صرف غنية بتلك المركبات المستعملة إضافة إلى المركبات الناتجة عن التفاعلات الوسيطية.

نظرا" للتنوع في المركبات المطروحة داخل مياه الصرف، واختلافها من مصنع لآخر فإن وضع طرائق عامة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات الكيميائية غير ممكن ولذلك نعرض بعضها:

آ) المعالجة الفيزيائية الكيميائية الأولية:

تشمل المعالجة الفيزيائية الكيميائية الأولية مراحل عديدة تبدأ بمرحلة فصل الأطوار المختلفة (سائل – سائل، سائل – صلب) مباشرة أو بعد إجراء عمليات تطويف أو ترسيب في حالة تمتع مياه الصرف بإحدى الخواص الآتية:

- تركيز الزيوت والمحلات العضوية يفوق العشرة مليغرامات في اللتر.
- نسبة المواد المعلقة (MES) أو المواد الغروية تفوق 20%.
- وجود عناصر سامة مثل الكبريت والمعادن الثقيلة.

يستعمل حوض إزالة الزيوت في مصانع الدهانات والأصبغة ثم تجرى عملية التكتل والترقيد في وسط معتدل (كلور الحديد والكلس الحي ومساعدات التكتل) تليها عملية تعويم باستعمال الهواء مما يخفّض من كمية المواد المعلقة في مياه الصرف إضافة إلى تخفيض قيمة الطلب الكيميائي على الأكسجين بنسبة 50%، كما أن هذه المرحلة تزيل بعض المعادن الثقيلة مثل الكروم والرصاص والزنك والمتميزة بسميتها، إن كل الميزات الواردة تساهم إيجابيا" في رفع مردود المعالجة الحيوية التي تلي هذه المرحلة.

ب) المعالجة الحيوية:

تقدم طريقة المعالجة الحيوية حلا" مناسبا" للمياه الحاوية على مركبات كيميائية متنوعة وخاصة المحلات العضوية القابلة للتفكك الحيوي كالكحولات وحمض الخل والسيتونات. كما تحوي مياه

الصرف مواد عضوية غير قابلة للتفكك الحيوي مباشرة، ولكن يلزمها بعض الوقت لنمو البكتريا المناسبة لها مع تطبيق شروط خاصة بتلك التحولات.

تتأكسد المركبات الدهنية غير المشبعة (Aliphatiques) بسهولة أكبر من المركبات العطرية، أما مركبات إبيكلورهيدرين (Épichlorhydrine) فإنها تتمتع بخاصية السمية للفعل البكتري، بينما تتمتع مركبات أخرى (الإيتر إيزوبروبيل، ثنائي إتيل الأمين، عديدي الإتيلين، الغليكول، المورفولين) بفعل مقاوم للتفكك الحيوي، ولكن يمكن التغلب على هذا الفعل المقاوم بإحداث شروط مناسبة لنمو البكتريا الفعالة مما يحتاج إلى زمن معين قبل بداية العملية الحيوية. كانت تصنف مادة الأنيلين ضمن المواد السامة والمثبطة للفعل البكتري إلى أن أمكن الحصول على بكتريا مناسبة لأكسدتها بوجود الفينول والفورمول، وأكدت النتائج التجريبية أن ارتفاع نسبة الأنيلين في حوض التهوية ضمن الشروط الخاصة يؤدي إلى زيادة فعالية البكتريا.

ونذكر على سبيل المثال أن مصنعا" يعطي 15 ألف متر مكعب يوميا" من مياه الصرف التي تبلغ حمولتها 20 إلى 30 طنا" من (DCO) يوميا"، و 10 إلى 15 طنا" من (DBO_5) يوميا"، تجري معالجتها بطريقة الحوض الهوائي (الحمأة المنشطة) مع زمن تماس بحدود 8 إلى 10 ساعات، وتعطي هذه الطريقة نتائج جيدة وصلت إلى إزالة 85% من (DCO) و95% من (DBO_5)، كما أثبتت تلك الطريقة صلاحيتها للكثير من الصناعات الكيميائية، ونوجز في الجدول (6 – 28) تركيز ثلاثة ملوثات أساسية في مياه الصرف الناتجة عن مصنع لإنتاج اللدائن العضوية والفينول والفورمول والبولة، ويظهر الجدول مردود عملية المعالجة لكل منها بطريقة الحوض الهوائي.

الجدول 6 – 28 : مردود عملية المعالجة لبعض الملوثات بطريقة الحوض الهوائي.

الملوث	التركيز في مياه الصرف (مغ / لتر)	مردود المعالجة %
الفورمول	400 – 300	99 – 97.5
الفينول	500 – 400	99.8 – 96
الأنيلين	1500 – 1000	100 – 95

تشمل محطة معالجة مياه الصرف للمصانع المنتجة للبوليميرات (الجزيئات الضخمة) عدة مراحل، تُزال الألوان في وسط قلوي (pH= 12) باستعمال الكلس الحي قبل المعالجة الحيوية التي تليها مرحلة إزالة الآزوت ثم الترويق النهائي، ويعطي الجدول (6 – 29) مثالا" على نتائج المعالجة لإحدى المحطات المتضمنة المراحل المنصوص عنها أعلاه لمصنع كبير للبوليميرات.

الجدول 6 – 29: متوسط نتائج تحليل محطة معالجة مياه الصرف لمصنع بوليميرات.

المعيار التحليلي	مياه صرف خام (مغ / لتر)	مياه معالجة (مغ / لتر)	المردود %
DBO_5	1800	300	83
DCO	3000	400	87
آزوت كلي N	200	30	85
نترات NO_3	200	50	75

ج) المعالجة الفيزيائية الكيميائية النهائية:

تعطي بعض الصناعات بقايا عضوية غير قابلة للتفكك الحيوي ولذلك تضاف مرحلة أو أكثر للمعالجة النهائية بعد مرحلة المعالجة الحيوية، ونذكر على سبيل المثال استعمال تقنية الامتزاز على سطح الفحم المنشط في وسط حمضي (pH = 3) للمركبات النترية (Dinitro toluene , Dinitro benzene) أو محلات عضوية كلورية، وتعطي هذه التقنية مردودا" يصل إلى 85% بالنسبة إلى الكربون العضوي الكلي (COT).

6. 6. 5 التعدين والصناعات الملحقة به:

آ) صناعة الحديد :

تحتوي مياه الصرف الناتجة عن صناعة الحديد الأنواع الرئيسية الآتية:

1 – المياه المشبعة بالأمونيا والناتجة عن فرن الفحم، وتحوي الأمونيا والفينولات والكبريت والسيانيد وكبريت السيانيد، إضافة إلى تركيز مرتفع من شوارد الكلوريد، وتجري عملية معالجة هذه المياه باتباع المراحل الآتية:

- إزالة القطران بعملية ترقيد أو ترشيح أو كلاهما معا".
- التخلص من الأمونيا بتعديل الوسط بهيدروكسيد الصوديوم أو الكلس الحي.
- معالجة حيوية باستعمال حوض التهوية.
- ترقيد الماء المعالج، ويستعمل الفحم المنشط أحيانا" داخل حوض الترقيد لامتزاز العناصر غير المرغوب خروجها مع الماء المصفى.

2 – مياه الصرف الناتجة عن غسيل الغازات المنطلقة من الفرن العالي، وتحتوي الأمونيا والسيانيد وسلفوسيانيد وشوائب من الفينول والمعادن الثقيلة (Zn , Pb)، وتعالج تلك المياه بطريقة الترسيب الكيميائي للمعادن الثقيلة وللسيانيد باستعمال أملاح الحديدي أو باستعمال

مؤكسدات قوية ثم يجري التخلص من الأمونيا بالتعديل بهيدروكسيد الصوديوم أو الكلس الحي.

3 – المياه الناتجة عن وحدة تصفيح المعادن على البارد، وتحتوي على المياه الحمضية (حمض كلور الماء، حمض الكبريت، حمض الآزوت) وشوارد المعادن والزيوت والشحوم، وتفصل في المرحلة الأولى الزيوت والشحوم الطافية ضمن حوض إزالة الزيوت، ثم تجرى عملية تعديل وأكسدة هوائية لترسيب الحديد في صيغة هيدروكسيد الحديد، ويجري التخلص من الكروم المنحل باستعمال المبادلات الشاردية.

ب) صناعة معالجة السطوح :

1 – تقنية معالجة السطوح:

تجرى عمليات معالجة السطوح للمواد المعدنية بهدف حمايتها من التآكل والصدأ، أو تغيير خواصها السطحية الفيزيائية، أو تحسين مظهرها الخارجي وصقلها.

وتجري عمليات معالجة السطوح ضمن أحواض تحتوي تراكيز عالية من المواد الكيميائية، حيث تغمس القطع المعدنية المراد معالجتها داخل الحوض ليحدث تفاعل كيميائي أو تفاعل كهروكيميائي بين المحلول والسطح. وعند إخراج القطعة من المحلول تكون مبللة، ولذلك يجري غسلها قبل انتقالها إلى حوض آخر، ولذلك فإن مياه الصرف تُقسم إلى قسمين أساسيين هما:

- مياه أحواض المعالجة التي يجري التخلص منها بعد انتهاء فعاليتها الكيميائية، وتحتوي على تراكيز عالية من المواد الكيميائية.
- مياه الغسيل والتي تحتوي على نفس مواد حوض المعالجة ولكن بتركيز أقل.

تحتوي مياه الصرف الناتجة عن معالجة السطوح مزيجا" من المركبات العضوية كالزيوت والشحوم والمواد المساعدة على التبلل والمعقدات العضوية المستعملة على نطاق واسع في معالجة السطوح، إضافة إلى المعادن المختلفة المنحلة والمعلقة، ونورد فيما يأتي (الجدول 6 – 30) أمثلة على محتويات أحواض المعالجة المستعملة التي تكوّن التلوث الأساسي لمياه الصرف.

الجدول 6 – 30: محتويات أحواض المعالجة.

نوع الحوض	حوض النحاس	حوض الكادميوم	حوض الزنك
Cu مغ / لتر	20 - 14		
CN مغ / لتر	27 - 22	50 - 40	50 - 30
Cd مغ / لتر		20 – 10	
Zn مغ / لتر			35 - 20
NaOH مغ / لتر			90 - 40
Acide Tartarique مغ / لتر	15 - 0		

2– معالجة مياه الصرف:

آ – تصنيف الملوثات الناتجة:

يمكن تصنيف الملوثات الناتجة ضمن أربعة أنواع مختلفة هي:

- المواد السامة: السيانيد والكروم السداسي والفلور وغيرها.
- المواد الحمضية أو القلوية.
- مواد معلقة: هيدروكسيد وكربونات وفوسفات المعادن.
- عناصر أخرى مختلفة مثل الكبريت والحديد الثنائي المنحل وغيرها.

وهكذا يجب أن تتضمن مراحل المعالجة إرجاعا" كيميائيا" للكروم السداسي وفصله للتخلص من سميته، ويجب وجود مرحلة أكسدة للتخلص من الحديد الثنائي المنحل والكبريتيت والنتريت، إضافة إلى مرحلة الترسيب والترشيح.

ب – التفاعلات الأساسية لعمليات الأكسدة والإرجاع:

يؤكسد السيانيد المعروف بسميته العالية إلى السيانات المعدومة السمية، وتجري عملية الأكسدة في وسط قلوي وباستعمال مؤكسدات قوية، مثل: الهيبوكلوريت وغاز الكلور وحمض كارو (H_2SO_5) وغيرها، وفيما يأتي التفاعلات الكيميائية للسيانيد مع تلك المؤكسدات.

$$NaCN + NaClO \longrightarrow NaCNO + NaCl$$

$$NaCN + Cl_2 + 2\,NaOH \longrightarrow NaCNO + 2\,NaCl + H_2O$$

$$NaCN + H_2SO_5 \longrightarrow NaCNO + H_2SO_4$$

تحدث تلك التفاعلات في وسط قاعدي ($pH > 12$) لتجنب تكوّن مركبات سامة في حالة استعمال أوساط أقل قاعدية، وهناك إمكانية استمرار عملية الأكسدة لإعطاء غاز الآزوت وتحطيم السيانات:

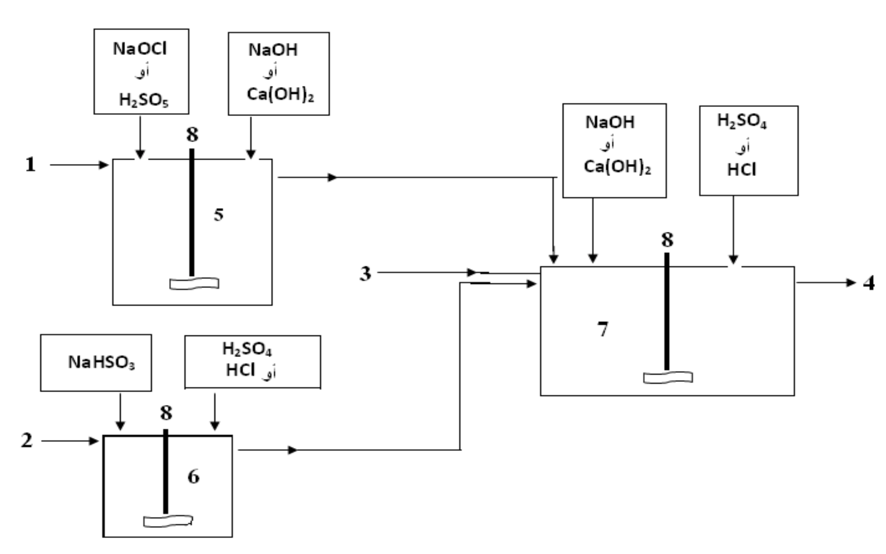
$$2\ NaCNO + 3\ Cl_2 + 6\ NaOH \rightarrow 2\ NaHCO_3 + N_2 + 6\ NaCl + H_2O$$

غير أن التفاعل الأخير يتطلب كمية كبيرة من الكواشف تعادل ثلاثة أضعاف الكمية اللازمة لإحداث عملية الأكسدة إلى السيانات فقط، كما يلزمه وقت طويل لإتمام عملية الأكسدة (5 إلى 90 دقيقة) مما يجعل عملية الأكسدة الكاملة باهظة التكاليف، ولذلك يتم الاكتفاء بالأكسدة الأولية وتحويل السيانيد إلى سيانات .

يرجع الكروم السداسي السام إلى الكروم الثلاثي الأقل سمية والقابل للترسيب في صيغة هيدروكسيد الكروم، وتجري عملية الإرجاع بوساطة كبريتيت الصوديوم (pH = 2. 5) أو كبريتات الحديدي (pH = 6) في وسط حمضي.

ج – مراحل معالجة مياه الصرف:

يوضح الشكل (6 – 51) مخططا" لمحطة كاملة لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن أحواض معالجة السطوح، وتحتوي تلك المحطة على عمليات الأكسدة والإرجاع والتعديل والترسيب الكيميائي، وتعالج المياه الحاوية تراكيز منخفضة من الملوثات بوساطة المبادلات الشاردية مما يسمح بإعادة استعمال المياه واستعادة استعمال المعادن المنحلة فيها.



1– مياه الصرف الحاوية على السيانيد، 2– مياه الصرف الحاوية على الكروم، 3– مياه الصرف القلوية والحمضية، 4– المياه المعالجة والمتجهة إلى حوض الترقيد، 5– حوض إزالة السيانيد، 6– حوض إزالة الكلور، 7 – حوض التعديل، 8– خلاط.

الشكل 6 – 51: مخطط لمحطة لإزالة السمية من مياه الصرف والمتمثلة بإزالة السيانيد والكروم.

6. 6. 6 معالجة مياه الصرف الناتجة عن معاصر الزيتون (ماء الجفت):

إن صناعة زيت الزيتون من الصناعات الأساسية في سورية نظرا" إلى الإنتاج الكبير للزيتون، حيث أصبحت الدولة السادسة عالميا" بإنتاج زيت الزيتون، والخامسة بعدد أشجار الزيتون (بحدود 80 مليون شجرة).

هناك عدة طرائق لاستخلاص زيت الزيتون أهمها: طريقة الضغط التقليدية على البارد، وطريقة الضغط على الساخن، وطريقة القوة النابذة، وطريقة الاستخلاص بمحلات عضوية.

وبغض النظر عن الطريقة المستعملة فإن عملية عصر الزيتون تعطي مخلفات صلبة تسمى كسب الزيتون (Ginon)، ومخلفات سائلة تسمى ماء الجفت (Margine)، يستعمل كسب الزيتون بعد معالجته كعلف للحيوانات، أما ماء الجفت فإنه من المصادر الكبيرة للتلوث في المناطق التي تنتشر فيها معاصر الزيتون بكثافة، ونذكر على سبيل المثال حالات التلوث التي حدثت في منطقة طرطوس، حيث وصل التلوث إلى الحوض الجوفي المغذي بمياه الشرب لعدد من القرى {108}.

آ) مواصفات مياه الجفت:

تختلف نسبة مياه الجفت باختلاف التكنولوجيا المستعملة في عملية العصر، ففي معاصر الضغط (المكابس) تتراوح كميتها بين 400 إلى 500 لتر للطن الواحد من الزيتون المعالج، بينما تتراوح بين 850 إلى 1200 بطريقة الطرد المركزي، وهناك عوامل أخرى تؤثر في كمية ماء الجفت الناتجة ونوعيتها، منها نوعية الزيتون والشروط المناخية وموعد قطف الثمار وغيرها.

تحوي مياه الجفت نسبة عالية من مركبات عديدي الفينول التي تعطيها اللون الداكن، إضافة إلى حمولة عالية من (DCO)، مما يجعلها مصدر تلوث مهم عند طرحها في مياه المجارير العامة أو المياه السطحية دون معالجة، ولاسيما أنها تحتوي مواد مثبطة أو قاتلة للبكتريا، وبالتالي تؤثر سلبا" في التحلل الحيوي ضمن البيئة المائية. إن الأثر البيئي لمياه الجفت لا يقتصر على المياه السطحية أو الجوفية، في حالة طرحه دون معالجة، بل يمتد إلى التربة حيث يقضي، بتركيز مرتفع، على الأحياء الدقيقة محدثا" خللا" في التوازن البيئي، مما ينتج عنه تدنٍّ في خصوبة التربة، إضافة إلى انبعاث روائح كريهة إلى مسافات بعيده، ويعطي الجدول (6 – 31) تركيبة مياه الجفت التقريبية من المواد الأساسية.

الجدول 6 – 31: تركيبة مياه الجفت.

المادة	وزنا" %	المادة	وزنا" %
الماء	83 - 84	الحموض العضوية	0.5 – 1.5
الأملاح المعدنية	1 - 2	الكحولات	1 – 1.5
السكريات	2 - 8	المواد دسمة	0.03 – 1
المواد العضوية الآزوتية	1.2 – 2.4	المواد البكتينية والصمغية والتانينات	1 – 1.5

الجدول 6 – 32: معايير التلوث الأساسية لمياه الجفت لمعاصر زيتون صغيرة وكبيرة ومقارنتها بمياه المجارير العامة{108}.

المعيار	معصرة صغيرة	معصرة كبيرة	مياه المجارير العامة
pH	4.5 – 5.3	5.3 – 5.7	7.2 – 7.8
DBO_5 (غ / لتر)	15 – 65	17 – 41	0.3 – 0.45
DCO (غ / لتر)	37 – 150	30 – 80	0.7 – 1.5
المواد الصلبة الكلية (غ / لتر)	24 – 115	19 – 75	0.7 – 1.2
المواد الصلبة المتطايرة (غ / لتر)	20 – 97	17 – 68	0.2 – 0.35
المواد الصلبة المعلقة (غ / لتر)	5.7 – 14	0.7 – 26	0.15 – 0.1
زيوت وشحوم (مغ / لتر)	46 – 760	100 – 8200	50 – 100
أزوت كلي (مغ / لتر)	270 – 510	300 – 480	60 – 80
الفوسفور الكلي (مغ / لتر)	100 – 190	75 – 120	20 – 24
DCO / DBO_5	1.8 – 2.5	1.4 – 2.2	1.8 – 2.5
DBO_5/N/P	100/0.96/0.36	100/1.2/0.3	100/20/5

ونورد في الجدول (6 – 32) مجال المعايير الأساسية لمياه الجفت الناتجة عن معاصر زيتون صغيرة وعن معاصر زيتون كبيرة ومقارنتها بمياه الصرف الحضرية (مياه المجارير العامة) في مدينة طرطوس.

يلاحظ من خلال المعلومات الواردة في الجدول (6– 32) حجم التلوث المرتفع الذي يحمله ماء الجفت، حيث إن نواتج عصر كيلوغرام واحد من الزيتون تعطي نواتج تلوث مكافئة لما يعطيه شخصان في اليوم الواحد.

ب) طرائق معالجة مياه الجفت :

نظرا" للحمولة العالية من الملوثات العضوية، ووجود نسبة مرتفعة من الفينولات، فإن الطرائق التقليدية لمعالجة مياه الصرف غير قابلة للتطبيق المباشر على مياه الجفت، كما أن العامل الاقتصادي يؤدي دورا" أساسيا" في اختيار طريقة المعالجة.

يمكن تصنيف الطرائق المستعملة لمعالجة مياه الجفت ضمن أربع مجموعات أساسية هي:

- مزجها مباشرة مع مياه الري لحقول الزيتون بنسبة لا تتجاوز 5%، وتستعمل هذه الطريقة في إيطاليا على نطاق واسع، وقد أجرى مركز بحوث إدلب الزراعية في سورية تجربة دامت من عام 2004 إلى عام 2008 لري شجيرات الكرمة بمياه ممزوجة بماء الجفت بنسبة 10 إلى 20 لترا" في المتر المكعب، وأكدت النتائج وجود جدوى اقتصادية من حيث توفير في كميات الأسمدة المستخدمة، إضافة إلى زيادة النمو الخضري وتحسين خصوبة الأرض وزيادة الإنتاج.
- عمليات فيزيائية تشمل الترشيح على مرشحات دقيقة جدا" (Nano Filtration).
- معالجة حيوية باستعمال طريقة التخمر الهوائي أو اللاهوائي.
- عمليات كيميائية تشمل التخثير والتكتل والترسيب، أو الأكسدة الوسيطية باستعمال مؤكسدات قوية مثل الأوزون أو الماء الأكسجيني.

يمكن استعمال إحدى الطرائق الواردة أعلاه أو جمع عدة طرائق في محطة معالجة واحدة.

1 – المعالجة الحيوية الهوائية:

تحتوي مياه الجفت تركيزا" مرتفعا" من المركبات الفينولية السامة للبكتريا الهوائية، وبالتالي تصبح عملية المعالجة الهوائية مباشرة غير فعالة، إضافة إلى كون الوسط حمضيا"، لذلك يجب تعديل الوسط واختيار بكتريا خاصة قادرة على التكاثر في مياه الجفت، وقد لُوحظ أن البكتريا المنتجة للآزوت من الجنس (*Azotobacter*) تتكاثر في وسط من مياه الجفت بعد تعديل الحموضة إلى وسط قلوي (pH = 8.5) مناسب، وقد أعطى استعمال بكتريا من النوع (*Azotobacter*

vinelandii) نتائج جيدة في تفكيك المركبات الفينولية والمركبات العضوية القابلة للتحلل الحيوي في مياه الجفت.

2 – المعالجة الحيوية اللاهوائية:

يمكن استعمال طريقة المعالجة اللاهوائية في معالجة مياه الجفت، وقد أعطت نتائج مقبولة، حيث جرى التخلص من نسبة 50 – 70% من الفينولات، إضافة إلى التخلص من نسبة عالية من الحمولة العضوية (DCO) مع إنتاج غاز الميتان، ولكن استعمال هذه الطريقة يتطلب إيجاد حالة توازن غذائي للبكتريا وهو غير متوافر في ماء الجفت، وبالتالي يجب إضافة عناصر مغذية مثل كلور الأمونيوم وفوسفات الأمونيوم وكلور البوتاسيوم وغيرها إلى المفاعل الحيوي، وقد أعطت المفاعلات التي أمكن إيجاد حالة توازن غذائي فيها وزرع بكتريا مدة 20 يوما" قبل استعمالها في المفاعلات، نتائج جيدة في تفكيك المركبات العضوية (اختفاء نسبة تتراوح بين 85% إلى 93% من DCO) وإعطاء مردود جيد من غاز الميتان (كل واحد غرام مزال من DCO أعطى 413 مليلترا" من الميتان).
ويمكن معالجة مياه الجفت بالطريقة الحيوية اللاهوائية باستعمال حمأة منشطة من محطة معالجة مياه الصرف، إضافة إلى استعمال مجموعات بكتريه خاصة ومناسبة للوسط. ونورد في الجدول (6 – 33) نتائج تلك الدراسة.

الجدول 6 – 33: نتائج المعالجة الحيوية اللاهوائية لمياه الجفت {122}.

المعامل	في حالة ماء جفت دون إضافة حمأة منشطة	في حالة إضافة نسبة 30 % من الحمأة المنشطة لماء الجفت	ماء جفت + 30 % حمأة منشطة + مجموعة بكترية خاصة
DCO (% إزالة)	35.1	69.5	95.4
الفينولات الكلية (% إزالة)	4.4	22.2	82.2
كمية الغاز الحيوي الناتج ($م^3$ لكل 1 $م^3$ ماء جفت معالج)	0.06	2	18.5
تعداد الجراثيم اللاهوائية (خلية / 100 مليلتر)	9.5×10^4	64×10^4	29×10^6

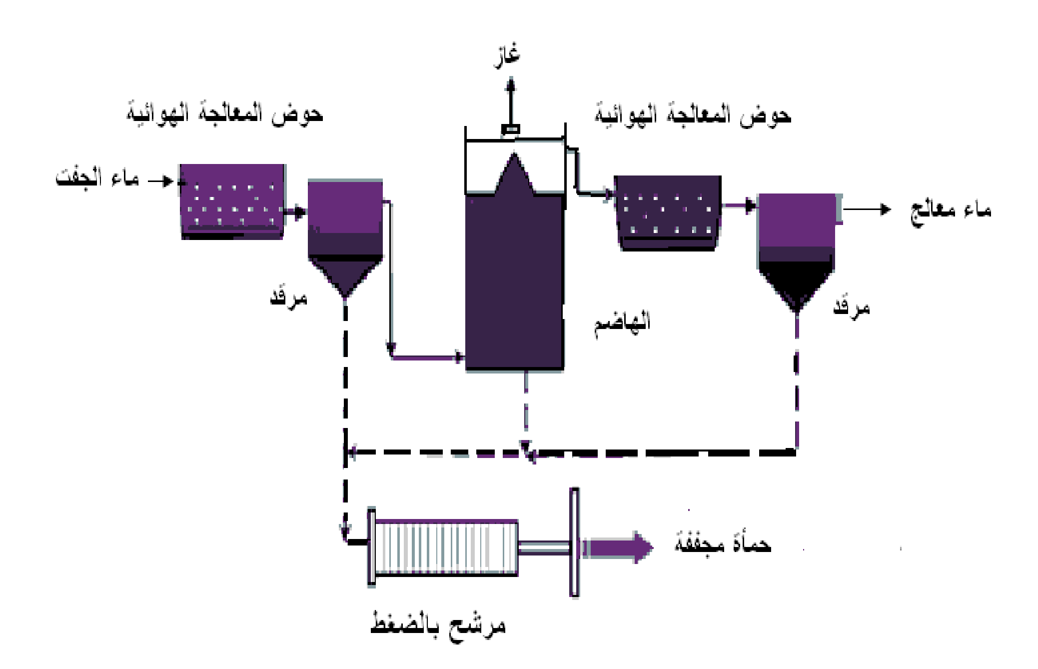
يتبين أن المعالجة الحيوية اللاهوائية المباشرة لماء الجفت ضعيفة المردود نتيجة وجود تراكيز عالية من الفينولات والمواد السامة للبكتريا، وأن إضافة نسبة من الحمأة المنشطة ترفع المردود إلى درجة مقبولة، أما إضافة مجموعة بكترية خاصة بالمعالجة الحيوية اللاهوائية فإنها تعطي نتائج ممتازة.

3 – جمع المعالجة الهوائية مع المعالجة اللاهوائية:

نظرا لارتفاع الحمولة العضوية فإنه من المفضل جمع التحلل الحيوي الهوائي واللاهوائي لزيادة مردود المعالجة، وقد تم استعمال هذه الطريقة في معالجة مياه الجفت. يعطي الشكل (6 – 52) مخططا" لمحطة تجريبية تتكون من ثلاث مراحل للمعالجة هي:

- مرحلة أولى: حوض تهوية يحتوي بكتريا قادرة على تحطيم المواد الفينولية يليه حوض ترقيد.
- مرحلة ثانية: هاضم حيوي (معالجة حيوية لاهوائية) باستعمال طريقة سرير الحمأة، وتعطي هذه المرحلة غاز الميتان.
- مرحلة ثالثة: حوض تهوية يحتوي البكتريا العادية المستخدمة في محطات المعالجة لمياه المجارير العامة يليه مرقد.

وتتضمن المحطة مرشحا" مكبسيا" لتنشيف الحمأة.



الشكل 6 – 52: طريقة معالجة الحمأة بثلاث مراحل {15}.

تعطي هذه المحطة ماءً قابلا" للاستعمال في الري، إضافة إلى مواد تستخدم كعلف حيواني وكذلك غاز الميتان الذي يستعمل كمصدر للطاقة.

4 – المعالجة بالأكسدة الوسيطية:

إن وجود المركبات الفينولية بتركيز مرتفع وسام للبكتريا يعدّ المشكلة الأساسية في مياه الجفت، لذلك فإن الاتجاه السائد حاليا" في معالجة مياه الجفت هو تطبيق الأكسدة الوسيطية كمرحلة تسبق المعالجة الحيوية للتخلص من المركبات الفينولية ونسبة مقبولة من الحمولة العضوية (DCO).

تستعمل في معالجة مياه الجفت وسائط مختلفة أهمها أكسيد التيتانيوم (TiO_2) وأكسيد الحديد (Fe_2O_3) وأكسيد الزنك (ZnO)، وتستعمل شوارد الحديدي (Fe^{+2}) في وساطة متجانسة مع مؤكسدات قوية مثل الأوزون والماء الأكسجيني، وقد أعطت عمليات الأكسدة الوسيطية نتائج ممتازة على مستوى البحث العلمي والمحطات التجريبية، غير أن انتقالها إلى مجال الاستثمار الصناعي لم يزل محدودا" بسبب عامل الكلفة الاقتصادية.

أعطى استعمال نظام كاشف فانتون($H_2O_2 + Fe^{+2}$) لمعالجة مياه الجفت إزالة بالحمولة العضوية (DCO) وصلت إلى 70%، بينما في حالة استعمال وسيط أكسيد التيتانيوم مع الأوزون وصلت تلك الإزالة إلى حوالي 90%.

يمكن استعمال نظام الأكسدة الوسيطية كمرحلة تسبق المعالجة الحيوية بهدف تخفيف الكلفة الاقتصادية ورفع أداء المعالجة الحيوية بتحطيم المركبات الفينولية وتحويلها إلى مركبات قابلة للتحلل الحيوي.

ويمكن تلخيص معالجة مياه الجفت باستعمال مراحل عديدة بالآتي**{110}:**

- المرحلة الأولى: عملية تخثير كهربائي (Électrocoagulation)، بدلا" من التخثير الكيميائي، في وسط حمضي (pH = 3. 5 - 5. 9).
- مرحلة ثانية: عملية تعديل للوسط وترسيب المعلقات المخثرة كهربائيا" باستعمال الكلس الحي (pH = 11 – 12).
- المرحلة الثالثة: الأكسدة الوسيطية غير المتجانسة بالأوزون، وباستعمال وسائط معدنية (حديد، نحاس، تيتانيوم) مرسبة على حامل من الغضار أو البنتونييت أو الكاؤولين في وسط قلوي.

وقد أعطت هذه الطريقة نتائج جيدة في المختبر، حيث جرى التخلص من الحمولة العضوية بما فيها المركبات الفينولية ونورد في الجدول (6 – 34) مردود عملية المعالجة في مراحلها المختلفة.

الجدول 6 – 34: نتائج استعمال نظام التخثير الكهربائي والأكسدة الوسيطية غير المتجانسة بالأوزون لمياه الجفت {110}.

المعامل	ماء الجفت الخام	% إزالة بعد مرحلة الترسيب	% إزالة بعد الأكسدة الوسيطية بالأوزون لمدة 200 دقيقة
DCO (غ/ لتر)	101.6	50.39	92
COT (غ / لتر)	22.56	48.82	–
أزوت كلي(غ / لتر)	1.138	76.98	–
فينولات (غ / لتر)	2.627	67.35	99

من خلال النتائج المستحصل عليها في المختبر، وإمكان تطوير الوسيط المستخدم يمكن أن تكون هذه الطريقة حلا" للمعاصر الكبيرة، ولاسيما في المناطق الشحيحة بالماء، نظرا" لإمكانية تدوير المياه الناتجة.

الفصل السابع

طرائق تحليل المياه

1 .7 أخذ العينة من المصدر المائي:

تعدّ عملية أخذ العينة من المجرى المائي عملية هامة وأساسية للوصول إلى نتائج تحليلية صحيحة ومعبرة بشكل دقيق عن القيم الحقيقية للعناصر المقيسة داخل المجرى المائي، ولذلك يجب تجنب أي تغيير في الخواص الفيزيائية أو الكيميائية للماء عند أخذ العينة.

يفضل استعمال قارورات ذات فوهات مصنفرة وتغلق بإحكام بوساطة سدادات زجاجية أو بلاستيكية، تنظف القارورات قبل استعمالها بمحلول مركز من برمنغنات البوتاسيوم ثم بحمض الكبريت، وتغسل بعد ذلك بالماء العادي إلى أن تختفي الحموضة من ماء الغسيل, ويعاد غسلها بالماء المقطر مرات عديدة. رغم ذلك فإن عملية غسيل القارورة ثلاث مرات بالماء المراد معايرته ضرورية عند الحصول على العينة، وتغلق القارورات جيدا" دون السماح لفقاعات الهواء بالبقاء في داخلها.

يستعمل حاليا على نطاق واسع قارورات بلاستيكية لسهولة نقلها, علماً أن لها سلبيات كثيرة نذكر منها: صعوبة تنظيفها جيدا"، امتزازها لمركبات عضوية (فحوم هيدروجينية, مبيدات،...،... .)، امتزازها لمركبات معدنية (فُسفورية)، إمكان نفوذ بعض الغازات المنحلة عبر البلاستيك.

ينصح عموما" بعدم استعمال القارورات المعدنية لحفظ العينات المائية، لتجنب حدوث عملية التآكل، وتختلف طريقة الحصول على العينة باختلاف منشأ الماء المراد معايرته, فإذا كان الأمر يتعلق بمياه الأنهار أو الأحواض المائية المفتوحة أو الخزانات المائية المغلقة, فإن عملية أخذ العينة تجري بغمر القارورة داخل الوسط المائي وعلى مسافة معينة من القاع ومن السطح أيضاً, وبعيداً عن الجوانب مع تجنب التحريك بشدة كي لا يدخل مع العينة بعض المواد المترسبة في قاع الحوض المائي. أما في حالة كون الحوض المائي بحيرة, فمن الضروري اختيار عدة نقاط لأخذ العينة ومزجهما معاً للحصول على عينة نموذجية، تؤخذ العينة من الصنبور لشبكة مياه الشرب، بعد ترك الماء يجري مدة عشر دقائق على الأقل.

يعدّ العكر مشكلة لكثير من التحاليل, ولاسيما التحاليل المعتمدة على القياسات الطيفية والوزنية، ولذلك لابد من فصل المواد المعلقة قبل إجراء التحاليل, وتستعمل عادة لعملية الفصل مرشحات ذات مسام قريبة من 45 ميكرونا"، ولمعرفة تأثير عملية الترشيح في النتائج, يجب إجراء بعض التحاليل على المواد المعلقة التي جرى فصلها بالترشيح.

عند تحليل المياه المعقمة سابقاً, لابدّ من التخلص من الكلور النشيط المتبقي بإضافة كمية مناسبة من تيوسولفات الصوديوم, وذلك لأن المركبات الكلورية تحدث اضطرابات في بعض القياسات, ولاسيما تلك المعتمدة على الطرائق الطيفية اللونية، وتحدث تحولات عديدة داخل العينة المائية في أثناء حفظها, ومن تلك التحولات التصاق بعض العناصرعلى جدران وعاء الحفظ, أو ترسبها نتيجة تغيير في تكافئها, يضاف إلى ذلك التحولات الحيوية التي يمكن تجنبها بحفظ العينة بدرجة أقل من (4°م)، وتعطى نتائج التحليل ضمن جداول مرفقة ببعض المعلومات الضرورية, وأهم تلك المعلومات:

- المنطقة التي أخذت منها العينة.
- مصدر الماء (نبع, نهر, بحيرة, بحر, خزان،...،....).
- قيمة تدفق المجرى المائي تقريبيا".
- نوعية الصخور التي يمر الماء عبرها.
- ذكر أهم المراكز الصناعية أو الزراعية أو الحضرية القريبة من المصدر المائي.
- تحديد استعمالات المياه المراد تحليلها (مياه شرب, مياه غسيل, مياه صناعية).
- تاريخ وساعة الحصول على العينة.
- حالة الطقس عموما" (مطر, ثلج, حرارة،...،....).

يجري تحديد حجم العينة المراد أخذها بناء" على التحاليل المطلوبة، أما نوعية العبوة والزمن الفاصل بين لحظة أخذ العينة ووقت إجراء التحاليل فإنها متعلقة أيضا" بنوعية التحاليل المطلوبة، وفي معظم الأحيان يجب إضافة مواد معينة للعينة المائية حتى يمكن الاحتفاظ بها في حالة عدم إجراء التحاليل فور الحصول عليها، ويلخص الجدول (7 – 1) معظم تلك الشروط المطلوبة للعينة المائية.

الجدول 7 – 1: الشروط الأساسية لحفظ العينات المائية ريثما يجري تحليلها. (العينات المخصصة لتحليل الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنزيوم ليست بحاجة لأي احتياطات أو شروط خاصة. ك – بلاستيك، ج– زجاج)

التحليل المطلوب	وعاء حفظ العينة	المادة المضافة لحفظ العينة	فترة الحفظ المسموح بها
القاعدية	ك – ج	لا شيء	24 ساعة
الحموضة	ك – ج	لا شيء	24 ساعة
الأمونيا	ك – ج	حمض كبريت (0. 8 مل/لتر) أو كلورالزئبق	24 ساعة
زرنيخ	ك – ج	حمض كلور الماء (2 مل / لتر)	شهران
آزوت كلي	ك – ج	حمض كبريت أو كلور الزئبق(40 مغ/لتر)	48 ساعة
كربون عضوي	ك – ج	حمض كبريت أو كلور الزئبق (40 مغ/ لتر)	24 ساعة
الناقلية	ك – ج	يفضل قياس فوري	24 ساعة
سيانور	ك – ج	هيدروكسيد الصوديوم (pH = 12)	24 ساعة
DBO	ج	كواشف المعايرة	6 ساعات
DCO	ك – ج	حمض الكبريت (2 مل / لتر)	24 ساعة
فلوريد	ك	لا شيء	7 أيام
زيوت وشحوم	ج	حمض كلور الماء (2 مل / لتر)	–
فحوم هيدروجينية	ج	لا شيء	6 أيام
مواد معلقة	ك – ج	لا شيء	6 ساعات
حديد، نحاس، فضة، كروم، ألمنيوم، زنك، رصاص.	ك – ج	حمض الآزوت (2 مل / لتر)	شهران
زئبق	ك	حمض الآزوت (2 مل / لتر)	شهران
نترات	ك – ج	كلور الزئبق (40 مغ / لتر)	6 ساعات
نتريت	ك – ج	كلور الزئبق (40 مغ / لتر)	24 ساعة
رائحة، طعم ، لون	ج	لا شيء	24 ساعة
أكسجين منحل	ج	يثبت فورا"، ويعاير خلال 24 ساعة	
مبيدات	ج	يحفظ في الظلمة	24 ساعة
pH	ك – ج	يقاس فورا"	
فينولات	ج	كبريتات النحاس (1 غ / لتر) + حمض الفُسفور (pH = 4)	24 ساعة
فوسفات	ج	كلور الزئبق (40 مغ / لتر)	24 ساعة
كبريتات	ك – ج	لا شيء	6 أيام
كبريت، كبريتيت	ك – ج	لا شيء	
درجة العكارة	ك – ج	تحفظ في الظلمة	24 ساعة
المواد الفعالة سطحيا"	ج	كلور الزئبق (40 مغ / لتر)	24 ساعة

7. 2 قياس الخواص الظاهرية للماء:

يجري قياس الخواص الظاهرية للماء لحظة الحصول على العينة لأن تلك الخواص تتغير بسرعة في أثناء نقل العينة إلى المخبر.

7. 2. 1 اللون (طريقة بلاتين – كوبلت):

تعتمد طريقة بلاتين – كوبلت على مقارنة لون الماء مع لون محلول محضر من كلور بلاتينات البوتاسيوم في وسط حمضي (حمض كلور الماء)، وتعادل وحدة قياس اللون 1 مغ من البلاتين في اللتر ضمن محلول بلاتين – كوبلت المحضر.

1 – تحضير محلول المعايرة:

يحضر محلول المعايرة بإذابة (1.245 غرام) من كلور بلاتينات البوتاسيوم و(1 غرام) من كلور الكوبلت ($Co\ Cl_2, 6\ H_2O$) في الماء المقطر مع إضافة (100 مليلتر) من حمض كلور الماء المركز, ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، يعطي المحلول المحضر لونا" يعادل 500 وحدة لون من وحدات هازين (HAZEN)، وتحضر عدة محاليل بتمديد المحلول السابق بالماء المقطر, ويعطي الجدول (7 – 2) طريقة تحضيرها وقيمة واحدات اللون الموافقة لكل منها، تحفظ تلك المحاليل ضمن قارورات مغلقة وموضوعة في مكان مظلم، ويمكن استعمالها خلال شهر من لحظة تحضيرها.

الجدول 7 – 2: المحاليل العيارية لقياس اللون.

محلول المعايرة (مل)	0.5	1	1.5	2	3	4	6	8
ماء مقطر (مل)	49.5	49	48.5	48	47	46	44	42
اللون (واحدات هازين)	5	10	15	20	30	40	60	80

2 – طريقة القياس:

تجرى عملية مقارنة لون العينة المراد قياسها بألوان المحاليل العيارية باستعمال أنابيب اختبار متشابهة تماماً، وهكذا يجري تحديد درجة تلون الماء.

3 – ملاحظات عامة:

- تعادل وحدة هازين لقياس اللون عينة تحتوي (2 ميلي غرام) من كلور الكوبلت المحلمهة, و (1 ميلي غرام) من البلاتين في اللتر الواحد.

- تجري عملية التخلص من المواد المعلقة بالتثقيل.
- تمدد بالماء المقطر العينات المتمتعة بدرجة لونية أعلى من (80) وحدة لونية.

7. 2. 2 الرائحة:

يجب أن يكون ماء الشرب خاليا" من الرائحة لأنها دليل على التلوث، تنتج الرائحة عن تفكك المركبات العضوية المنحلة في الماء, ومن الصعب تحديد تركيزها لأنها تكون بتراكيز منخفضة جداً، ولذلك يعتمد تقديرها على خاصية الشم، بإجراء تخفيف للعينة إلى أن تختفي رائحتها.

1 – <u>طريقة العمل:</u>

يجري القياس بمشاركة خمسة أشخاص أو شخصين على الأقل, ولا يمكن الاعتماد على حاسة الشم عند شخص واحد في تقدير النتائج.

يوضع على الترتيب (50، 16، 6 و صفر) مليلتر من ماء العينة ويكمل الحجم إلى (240 مليلترا") بالماء المقطر الخالي من الرائحة تماماً، يحدد الأشخاص المجربون العينات الحاوية على رائحة وتلك الخالية منها عند درجتي الحرارة (25^{o} م و 60^{o} م)، يجب أن تبدأ عملية الشم على العينة الخالية من الرائحة أي الأكثر تمديداً.

بعد تحديد العينات الحاوية على الرائحة, تجري عمليات تمديد لها, ويتم فرزها ثانية إلى عينات ذات رائحة وأخرى خالية من الرائحة، وتحدد العينة الأكثر تمديداً والحاوية على رائحة ثم تحسب عتبة الشم.

مثال: لنفرض أن(6 مليلترات) من الماء المراد معايرته والممدد إلى(240 مليلترا") أكبر تمديد يحتوي رائحة، يمكن حساب عتبة الشم كالآتي:

$$240 \ / 6 = 40$$

وبإجراء عملية حسابية لمعرفة متوسط نتائج المجربين الخمسة نحصل على النتيجة النهائية التي تحسب كالآتي:

نفرض أن تلك العتبات كانت مختلفة من مجرب لآخر وهي على الترتيب:

4 , 8 , 1.5 , 10 , 2، يعطى المتوسط بالعلاقة الآتية:

$$4 \times 8 \times 1.5 \times 10 \times 2 = 960$$

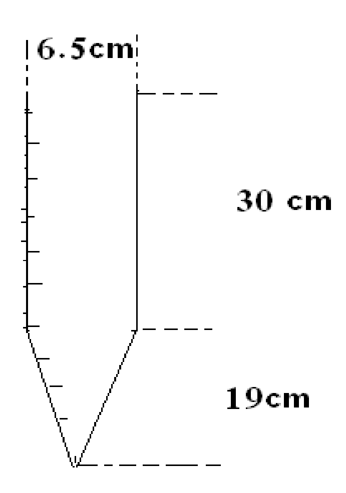
$$4 = \sqrt[5]{960}$$

وتكون قيمة العتبة المتوسطة أربعة تقريبا".

7. 3 الفحوص الأولية للماء:

7. 3. 1 تحديد المواد الراسبة:

يترك حجم معين من الماء لمدة ساعتين, ويقاس حجم الكمية الراسبة، ويستعمل لهذه الغاية أنبوب زجاجي خاص, يكون من الأسفل على شكل مخروطي ارتفاعه (19 سم), متصلا" من قاعدته بأنبوب اسطواني ارتفاعه (30 سم) وقطره (6.5 سم), والأنبوب بكامله مدرج (الشكل 7 – 1) وسعته (1 لتر)، ويمرر الماء على غربال ذي ثقوب مربعة ضلعها 5 مم وذلك للتخلص من المواد المعلقة ذات الحبيبات الكبيرة.
ويسكب بعد ذلك لتر من الماء داخل الأنبوب الموضح في الشكل (7 – 1)، وتقاس الكمية الراسبة خلال خمسة أزمنة مرتبة هي: 45، 60، 90، 105، 120 دقيقة، ويعبر عن النتيجة بحجم المواد الراسبة مقدرة بالميلي لتر.



الشكل 7 – 1: أنبوب زجاجي لتحديد المواد القابلة للترقيد.

7. 3. 2 تحديد كمية المواد المعلقة:

تحدد كمية المواد المعلقة في الماء إما بطريقة الترشيح أو بطريقة التثقيل.

آ) **طريقة الترشيح:**

يجري ترشيح كمية معينة من الماء المراد تحليله على ورق الترشيح أو على قرص ترشيح باستعمال جهاز ترشيح تحت التفريغ، يجفف المرشح مع الراسب عند الدرجة 105^{o} م ويوزن الناتج، يطرح وزن ورقة الترشيح من الوزن السابق فنحصل على وزن المادة الراسبة، ويعطى تركيز المواد المعلقة (مغ / لتر) بالعلاقة الآتية:

$$1000\ (M_1 - M_0)\ /\ V$$

حيث : M_0 وزن قرص الترشيح قبل إجراء عملية الترشيح (مليغرام).

M_1 وزن قرص الترشيح مع المادة المترسبة عليه (مليغرام).

V حجم الماء المستعمل (مليلترا").

ملاحظة: يجب التخلص من الزيوت والهيدروكربونات قبل إجراء عملية الترشيح, ويجري ذلك باستخلاصها بوساطة الكلوروفورم.

ب) طريقة التثفيل:

تثفل عينات المياه باستعمال مثفلة ذات تسارع قدره g3000 (أي 3000 مرة من تسارع الجاذبية الأرضية) مدة (15) دقيقة، ويفصل الماء عن الراسب, ويوضع الراسب في جفنة, يغسل أنبوب التثفيل باستعمال (20 مليلترا") من الماء المقطر، ويجمع ماء الغسيل مع الراسب في الجفنة، يبخر الماء الموجود في الجفنة باستعمال حمام مائي ومن ثم توضع الجفنة في فرن التجفيف (105^{o}م)، توزن الجفنة بعد التجفيف (P_2), وتوضع من جديد في فرن درجة حرارته (525 ± 25 درجة مئوية) لمدة ساعتين, وتوزن الجفنة بعد تبريدها (P_3).
لنفرض أن حجم عينة الماء V مل, ووزن الجفنة الفارغة (P_1), ووزن الجفنة مع الراسب بعد عملية التجفيف الأولي (P_2), فإن تركيز المواد المعلقة الكلية يعطى بالعلاقة الآتية:

$$MES\ (mg/l) = 1000/V\ (P_2 - P_1)$$

أما تركيز المواد المعلقة المعدنية (MESM) والتي يجري الحصول عليها بعد التخلص من المواد العضوية في الدرجة (525 ^{o}م) فإنها تحسب كالآتي:

$$MESM\ (mg/l) = 1000\ /\ V\ (P_3 - P_1)$$

يعطي الفرق بين تركيز المواد المعلقة الكلية وتركيز المواد المعلقة المعدنية تركيز المواد المعلقة العضوية (MESO).

$$MESO = MES - MESM$$

7. 3. 3 تحديد المواد المتبقية:

يشمل هذا المقياس المواد المعلقة والمواد المنحلة في الماء, ولكنه يتأثر كثيراً بالشروط العامة للتجربة, وخاصة درجة الحرارة وزمن التجفيف.
يبخر الماء السائل وقسم من الماء الداخل ضمن بنية البلورات الملحية عند درجة الحرارة (100° إلى 105° م), ويحدث تحول الكربونات الحمضية إلى كربونات عند تلك الدرجة من الحرارة، إن تسخين الماء إلى الدرجة 180° م يؤدي إلى خسارة كاملة لماء التبلور والأمونيا وماء حمض الكبريت المتكون من أملاح كبريتات المعادن القلوية, إضافة إلى تفكك بعض المركبات العضوية، ويحدث في تلك الدرجة من الحرارة ترسب لأملاح المغنزيوم بعد حلمهتها معطيةً راسباً من هيدروكسيد المغنزيوم.
هناك طرائق أخرى لقياس المواد المتبقية وهي:

آ)المتبقي الجاف:

يرشح الماء المراد تحليله, ويبخر فوق حمام مائي ضمن جفنة بلاتينية. عند انتهاء عملية تبخير حجم من الماء قدره (500 مليلتر), تنقل الجفنة إلى فرن التجفيف (105° م) وتترك لمدة أربع ساعات, ثم توضع لتبرد في مجفف مدة ربع ساعة قبل وزنها بدقة متناهية، وتكون المواد المتبقية استرطابية (شرهة للماء), ويمكن التخفيف من استرطابية الراسب بإضافة كمية صغيرة من فلوريد الصوديوم إلى العينة قبل إجراء عملية التبخير، مما يؤدي إلى تكوين راسب ناعم ومقاوم للحلمهة (امتصاص الماء).

ب)المتبقي الثابت:

يبخر الماء عند الدرجة (525° م), ويحدد وزن الراسب المتبقي الذي نسميه بالمتبقي الثابت لكونه مؤلفاً من أملاح معدنية ثابتة التركيب، والفرق بين المتبقي الجاف والمتبقي الثابت يمثل المواد العضوية التي تفككت خلال عملية التسخين بين درجتي الحرارة (105° و 525° م)، تمثل تلك القيمة رقماً تقريبياً لأن بعض المركبات المعدنية تتفكك أيضاً ضمن ذلك المجال من درجة الحرارة.

ج)المتبقي الكبريتاتي:

يضاف حمض الكبريت إلى العينة المائية مما يؤدي إلى تحول الأملاح المنحلة إلى كبريتات المعادن الموجودة داخل العينة, وأملاح الكبريتات ثابتة ولا تتفكك في تلك الدرجات من الحرارة،

وتجري التجربة بتبخير العينة فوق حمام مائي ثم تجفيفها في فرن درجة حرارته (100° م) مدة ساعتين، ويضاف إلى المتبقي قليل من حمض كلور الماء الممدد مع تسخين هادئ للتخلص من الكربونات في صيغة ثنائي أكسيد الكربون، وتمزج كمية كافية من حمض الكبريت مع العينة ويبخر المزيج على حمام مائي, ويوضع بعد ذلك في فرن درجة حرارته (700° م) مع إضافة كمية صغيرة من كربونات الأمونيوم وتجري عملية الوزن على فترات متقطعة حتى الحصول على وزن ثابت يدعى المتبقي الكبريتاتي.

7. 4 القياسات الفيزيائية الكيميائية:

7. 4. 1 قياس دليل الهيدروجين pH:

آ) الطريقة اللونية:

تعتمد الطريقة اللونية على إضافة مشعر معين إلى الماء ومقارنة اللون الناتج مع ألوان محاليل محضرة ولها قيم لدليل الهيدروجين معروفة سابقاً، نستعمل عادة عدداً كبيراً من المشعرات, ونورد بعضها في الجدول (7 – 3):

الجدول 7 – 3: بعض المشعرات المستعملة لقياس دليل الهيدروجين.

المشعر		مجال القياس	تحولات الون
أرجواني البروموكريزول	Pourbre de Bromocresol	6.8 - 5.2	أصفر – أرجواني
أزرق البروموتيمول	Bleu de Bromothymol	7.6 - 6.0	أصفر – أزرق
أحمر الكريزول	Rouge de Cresol	8.8 – 7.2	أصفر – أحمر
أزرق التيمول	Bleu de Thymol	9.6 – 8.0	أصفر شاحب – أزرق

تحضر عدة محاليل مختلفة في قيمة دليلها الهيدروجيني, انطلاقاً من ستة محاليل موقية أساسية هي:

1) محلول حمض كلور الماء (0.2 نظامي).
2) محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.2 نظامي).
3) محلول كلور البوتاسيوم (0.2 نظامي).

4) محلول فتالات البوتاسيوم الحمضية (0.2 نظامي). وصيغته الكيميائية $[C_6H_4(COO)_2HK]$.

5) محلول فوسفات أحادي البوتاسيوم (27.32 غراما" / لتر) ذو الصيغة الكيميائية $[H_2KPO_4]$.

6) محلول حمض البوريك (Acide Borique) وكلوريد البوتاسيوم بمزج (12.405 غراما") من حمض البوريك مع (14.912 غراما") من كلوريد البوتاسيوم وإذابتهم في لتر من الماء.

تمزج أحجام معينة من المحاليل السابقة للحصول على محاليل موقية ومتمتعة بقيم مختلفة لدليلها الهيدروجيني، ويعطي الجدول (7 – 4) نماذج لتلك المحاليل.

الجدول 7 – 4: محاليل مختلفة في قيمة دليلها الهيدروجيني.

pH	المزيج المحضر
3	2.32 مل من المحلول (1) + 50 مل من المحلول (4) + 200 مل ماءً مقطرا"
4	0.4 مل من المحلول (2) + 50 مل من المحلول (4) + 200 مل ماءً مقطرا"
5	23.85 مل من المحلول (2) + 50 مل من المحلول (4) + 200 مل ماءً مقطرا"
4 .6	12.6 مل من المحلول (2) + 50 مل من المحلول (5) + 200 مل ماءً مقطرا"
2 .8	5.9 مل من المحلول (2) + 50 مل من المحلول (6) + 200 مل ماءً مقطرا"
9	21.3 مل من المحلول (2) + 50 مل من المحلول (6) + 200 مل ماءً مقطرا"

ب) طريقة القياس الكهربائي باستعمال مسرى زجاجي:

تعتمد هذه الطريقة على قياس فرق الكمون بين مسرى زجاجي والمسرى المرجع (كالوميل – كلور البوتاسيوم) والمغموسين في المحلول نفسه، ويرتبط كمون المسرى بفعالية شوارد الهيدروجين H^+ تبعاً لقانون نرنيست (NERNEST):

$$E = E_0 + 2.3\ (RT / n F) \log .\ a_H$$

حيث: E الكمون القياسي, R ثابت الغاز الكامل (جول/ درجة), n شحنة الشاردة, a_H فعالية الشاردة (H) ضمن المحلول, E_0 ثابت يتعلق بالمسرى المرجع, T درجة الحرارة, F فارادا ي (96500).

يضبط الجهاز (الشكل 7 – 2) ويعاير باستعمال ثلاثة محاليل معايرة من أجل قيم مختلفة لدليل الهيدروجين.

المحلول الأول (pH = 4): يحضر بإذابة (10.12 غراما") من أحادي هيدروجين فوسفات البوتاسيوم في لتر من الماء المقطر.

المحلول الثاني (pH = 6. 88): يحضر بإذابة (3.39 غرام) من ثنائي هيدروجين فوسفات البوتاسيوم مع (3.53 غرام) من أحادي هيدروجين فوسفات الصوديوم في لتر من الماء المقطر.

المحلول الثالث (pH = 9. 22): يحضر المحلول بإذابة (3.81 غرام) من البوراكس (B_4O_7Na , 10 H_2O) في لتر من الماء المقطر.



الشكل 7– 2: صورة لجهاز قياس pH.

يجب الأخذ بالحسبان أن قيمة دليل الهيدروجين لتلك المحاليل مرتبط، ولو جزئيا"، بدرجة حرارة بيئة التحضير، يعطي الجدول (7 – 5) قيم تلك التحولات.

الجدول 7 – 5: تأثير درجة الحرارة في قيم دليل الهيدروجين للمحاليل الثلاثة المحضرة.

درجة الحرارة م°	المحلول الأول	المحلول الثاني	المحلول الثالث
5	4.00	6.95	9.33
10	4.00	6.92	9.28
15	4.00	6.90	9.22
20	4.00	6.88	9.18
25	4.01	6.86	9.14
30	4.01	6.85	9.10
60	4.09	6.84	8.92

7. 4. 2 قياس الناقلية الكهربائية النوعية Conductivité:

تعرّف الناقلية الكهربائية النوعية بأنها ناقلية عمود من الماء طوله 1 سم ومحصور بين قطبين مكونين من صفيحتين من البلاتين سطح كل منهما 1 سم^2، وتقاس الناقلية النوعية باستعمال جهاز الناقلية (الشكل 7 – 3)، ويعبر عنها بواحدات تسمى سيمنس (Seimens)، والمعادلة (1 / أوم). وهناك خلايا مختلفة في مجال قياسها للناقلية وتتراوح في حدها الأدني بين 0.01 الى 10 ميكرو سمنس/سم ، بينما حدها الأعلى بين 300 الى 2000 ميكرو سمنس/سم.



الشكل 7 – 3: صورة جهاز قياس الناقلية.

1 – طريقة العمل:

تغسل الخلية عدة مرات بالماء المقطر ثم بالماء المراد فحصه قبل أن تغمر فيه، ويحرك الماء باستمرار باستعمال خلاط مغناطيسي، للحصول على توزيع متجانس للشوارد، وللتخلص من فقاعات الهواء المعلقة على الأقطاب، ويثبت ميزان حرارة بالقرب من الخلية وتقاس درجة حرارة المحلول خلال التجربة.

يعبر عن الناقلية النوعية (C) بالميكروسيمنس على السنتيمتر (µS / Cm)، ويفضل إجراء عملية تمديد على العينات المتمتعة بناقلية عالية وحساب الناقلية من العلاقة الآتية:

$$C = D . Cd_1 - (D - 1)C_1$$

حيث: C الناقلية النوعية للعينة الأساسية (قبل التمديد).

Cd_1 الناقلية النوعية للعينة الممددة.

C_1 الناقلية النوعية للماء المستخدم للتمديد (ماء مقطر).

D معامل التمديد ويساوي إلى ($V+ V_1 / V$) حيث V حجم ماء العينة و V_1 حجم الماء المقطر المستعمل في عملية التمديد.

تعطى نتائج القياس عادة عند الدرجة (20^o م) ولذلك يجب استعمال منظم حراري، وإذا تعذر ذلك، يمكن قياس الناقلية في درجة حرارة المختبر وحساب الناقلية النوعية في الدرجة (20^oم) اعتمادا" على معامل التصحيح الوارد في الجدول (7 – 6) وباستعمال العلاقة الآتية:

$$C_{20^\circ} = C_T \cdot f$$

حيث يرمز (f) إلى معامل التصحيح.

الجدول 7 – 6: قيم معامل التصحيح لدرجات الحرارة في قياس الناقلية النوعية للماء.

درجة الحرارة م	معامل التصحيح f	درجة الحرارة م	معامل التصحيح f
5	1.490	16	1.096
6	1.445	17	1.070
7	1.400	18	1.046
8	1.385	19	1.023
9	1.319	20	1.000
10	1.282	21	0.979
11	1.246	22	0.958
12	1.213	23	0.938
13	1.182	24	0.919
14	1.152	25	0.902
15	1.123	26	0.885

- تحديد ثابت الخلية K:

تمتلك كل خلية ثابتا" خاصا" بها ضمن مجال معين من التركيز، ولذلك يجب تحديد قيمة ثابت الخلية ضمن المجال المراد قياس ناقليته، وتقاس الناقلية النوعية (C) لمحلول عياري ضمن الشروط التجريبية، ويحسب ثابت الخلية اعتمادا" على الناقلية العيارية (ρ) لذلك المحلول:

$$K = \rho / C$$

تستعمل عادة محاليل كلور البوتاسيوم لتحديد قيمة ثابت الخلية، ويعطي الجدول (7 – 7) الناقلية النوعية لمحاليل مختلفة التركيز في الدرجة (20° م)، وينصح بإجراء معايرة للخلية باستعمال كلور البوتاسيوم (0.005 نظامي) قبل إجراء القياسات، بينما تعاير باستعمال ثلاثة محاليل هي (0.1، 0.005، 0.001 نظامي) مرة كل أسبوع على الأقل.

الجدول 7 – 7: الناقلية العيارية لمحاليل KCl في الدرجة (20° م).

عيارية المحلول KCl (نظامي)	0.4	0.1	0.02	0.01	0.005
الناقلية (مكروسيمنس /سم)	41660	11680	2510	1277	653.5

ونظرا" لتغير الناقلية بدلالة درجة الحرارة، فإن الجدول (7 – 8) يعطي الناقلية النوعية لمحاليل من (KCl) بدلالة درجة الحرارة، مما يسمح بحساب(K) في درجة حرارة التجربة.

الجدول 7 – 8: تحول المقاومة النوعية والناقلية النوعية بدلالة درجة الحرارة (وحدة قياس الناقلية النوعية ميكروسيمنس/سم ، والمقاومة النوعية أوم.سم)

درجة الحرارة م	KCl 0. 01 N		KCl 0. 02 N		KCl 0. 1 N	
	الناقلية النوعية	المقاومة النوعية	الناقلية النوعية	المقاومة النوعية	الناقلية النوعية	المقاومة النوعية
15	10410	95.98	2242	446	1147	872
16	10670	93.67	2293	436	1174	852
17	10930	91.46	2347	426	1199	834
18	11190	89.36	2398	417	1224	817
19	11430	87.44	2451	408	1250	800
20	11680	85.43	2500	400	1279	782
21	11960	83.59	2551	392	1305	766
22	12220	81.83	2604	384	1331	751
23	12470	80.14	2659	376	1359	736
24	12730	78.52	2710	369	1387	721
25	12970	77.05	2769	362	1412	708

- تحديد تمعدن (ملوحة) الماء اعتمادا" على الناقلية النوعية:

هناك علاقة بين الناقلية النوعية للماء وتركيز الأملاح المنحلة، علما" أن تمعدن الماء المحسوب بهذه الطريقة لا يطابق التمعدن المقاس بطريقة التبخير. ويحسب التمعدن من العلاقة التقريبية الآتية:

التمعدن أو الملوحة (مليغرام / لتر) = 0.688 × الناقلية النوعية (ميكرو سيمنس/ سم).

وقد لُوحظ بالتجربة أن النتيجة المعطاة حسابيا" أقل من النتيجة المستحصل عليها بطريقة التبخير، ولاسيما في حالة المياه المتمتعة بناقلية نوعية أكبر من القيمة (833 ميكرو سيمنس / سم) أو أقل من القيمة (333 ميكرو سيمنس / سم)، ولذلك تم تحسين الطريقة بإعطاء عدة علاقات لحساب التمعدن تبعا" لقيم الناقلية النوعية للماء المراد اختباره، يلخص الجدول (7 – 9) قيمة الثابت في المعادلة أعلاه ضمن مجالات مختلفة من قيم الناقلية النوعية.

الجدول 7 – 9: قيم ثوابت حساب التمعدن (الملوحة) اعتمادا" على الناقلية النوعية.

قيمة الثابت	مجال الناقلية النوعية (ميكرو سيمنس / سم) في الدرجة 20° م
1.365079	أصغر من 50
0.947658	50 – 166
0.769574	166 – 333
0.715920	333 – 833
0.758544	833 – 10000
0.850432	أكبر من 10000

7. 4. 3 قياس درجة العكارة:

تنتج العكارة عن وجود مواد معلقة دقيقة جدا" كالتراب والسيليس والمواد العضوية الطبيعية وغيرها، ولذلك فإن قياس درجة العكارة للمياه الخام ثم للمياه المصفاة يعطي فكرة عن فعالية التنقية.

هناك عدد من الطرائق لقياس درجة العكارة باختلاف ظروف القياس (داخل المختبر أو خارجه)، وفي كل الأحوال يفضل قياس درجة العكارة بعد الحصول مباشرة على العينة.

تعتمد طرائق القياس للمياه السطحية على تحديد البعد الذي يصبح عنده جسم معين غير مرئي بالعين المجردة (سلك من البلاتين، قرص سيكشي) بينما تعتمد طرائق القياس في المختبر على انتشار حزمة ضوئية أو امتصاصها داخل السائل المعلق.

– ظاهرة تيندال (Effet TYNDALL):

تعتمد ظاهرة تيندال على تبعثر الأشعة الضوئبة المتساقطة على الجسيمات المعلقة داخل السائل , وتقاس درجة العكارة من خلال تحديد شدة الضوء المتبعثر.

إذا افترضنا أن الجسيمات كروية الشكل وغير قادرة على امتصاص الضوء, فإن شدة الضوء المتبعثر يعطى بعلاقة ريلاي (RAYLEIGH):

$$I = I_o . K \frac{N. V^2}{\lambda^4} \sin^2 \varphi$$

حيث: (I) شدة الضوء المتبعثر في اتجاه يصنع مع الضوء الساقط زاوية قدرها(φ) و (I_o) شدة الضوء الساقط، و(V) حجم الجسيم و(N) عدد الجسيمات المسؤولة عن عملية الانتشار، و (λ) طول موجة الضوء الساقط.

توضح العلاقة أن شدة الضوء المتبعثر ترتبط بالعوامل الآتية:

- عدد وأحجام الجسيمات المعلقة.
- شدة وطول موجة الضوء الساقط.
- الجهة التي نلتقط عندها الضوء المتبعثر.
- الثابت K الذي يتعلق بدوره بقرينة الانكسار ودرجة الحرارة.

ويمكن تطبيق علاقة لامبير على المعلقات التي يتمتع السائل الحامل لها بامتصاصية ضوئية مهملة:

$$D = \ln (I_0/I) = \varepsilon . L. C$$

حيث: (D) كثافة الضوء الممتص عند عبوره العينة، و(I_o) شدة الضوء الساقط على العينة و (I) شدة الضوء النافذ من العينة، و(L) سمك العينة، و (C) تركيز المعلقات في العينة، و(ε) معامل الامتصاص.

هناك الكثير من الأجهزة المستخدمة لقياس درجة العكارة التي تعتمد إما على انتشار الضوء أو على امتصاصيته، غير أن الصعوبة تتجسد في تحضير المحلول العياري، كما أن المشكلة النظرية تتمثل في انعدام وجود علاقة نظرية واضحة بين الامتصاصية أو الانتشار من جهة وبين كتلة المواد المعلقة من جهة أخرى، ولذلك فطريقة القياس تعتمد على المنحني البياني العياري لمواد معلقة مطابقة أو قريبة منها للمواد المعلقة المراد قياسها بحيث نحصل على نتائج مرضية، وتستعمل طريقة قطرات الصمغ (Gouttes Mastic) لقياس درجة عكارة مياه خفيفة التعكر والمحملة بجسيمات غروية، بينما تستعمل طريقة السيليس للمياه المحملة بمواد قابلة للترقيد (تراب و رمل وغيرها).

تستعمل أيضا" طريقة النيفلوميتري التي تسمى أيضا بطريقة الشفافية (Néphélometrie) المعتمدة على مقارنة شدة الضوء المتبعثر داخل المعلق للعينة المائية مع شدة الضوء المتبعثر

داخل محلول شاهد، ويتكون المحلول الشاهد من كبريتات الهيدرازين ومن سداسي ميتيلين رباعي الأمين، ويرمز إلى واحدات القياس بالرمز (Formazine Turbidity Units- FTU).

آ) طرائق القياس على المجرى المائي مباشرة :

– طريقة سلك البلاتيني:

يستعمل لهذه الغاية سلك من البلاتين قطره 1 مليمتر وطوله 25 ميلي مترا"، مثبت في نهاية سلسلة طولها 1.2 متر، ويغمر السلك البلاتيني داخل المجرى المائي، ويقاس العمق الذي يتوقف عنده الملاحظ (المجرب) عن رؤية السلك.

- طريقة سيكشي SECCHI:

تعتمد طريقة سيكشي على العمق الذي يتوقف عنده رؤية قرص من البورصلان الأبيض ذي القطر المساوي 20 سنتمترا"، وتستعمل هذه الطريقة لقياس درجة تعكر البحيرات والآبار

ب) طرائق القياس في المختبر:

يعتمد قياس درجة العكارة في المياه على ظاهرة تيندال (Effet TYNDALL) أو ظاهرة التعتيم (Opacimétrie).

1 – طريقة قطرات الصمغ:

تعتمد طريقة قطرات الصمغ على مقارنة الامتصاصية للعينة مع محلول محضر من مادة الصمغ في الكحول بنسبة (1%)، إن كل قطرة من المحلول السابق تعادل درجة عكارة واحدة.

يحتوي الجهاز المستعمل على مصدر ضوئي يعطي حزمتين ضوئيتين، تعبر إحداهما عينة الماء العكر، أما الحزمة الثانية فتعبرخلية مملوءة بالماء المقطر، يجري القياس بإضافة قطرات من محلول الصمغ إلى عينة الماء النقي إلى أن تتساوى الامتصاصية الضوئية للخليتين. يعبّر عند ذلك عن درجة العكارة بعدد قطرات محلول الصمغ المضافة، وفي حال إجراء القياسات على جهاز يحتوي حزمة ضوئية واحدة، فإن الطريقة المتبعة تعتمد على تحديد المنحني البياني العياري للامتصاصية بدلالة عدد قطرات الصمغ المضافة كمرحلة أولى قبل إجراء القياسات على العينات المائية. ويحضر لهذه الغاية مجموعة محاليل تحوي كل منها على 50 مليلترا" ماءً مقطرا"، وعلى عدد من قطرات محلول الصمغ (1%) كما هو موضح في الجدول (7 – 10).

الجدول 7 – 10: تحضير المحاليل العيارية لقياس درجة العكارة بطريقة قطرات الصمغ.

(تستعمل قطارة تعطي 50 قطرة من أجل واحد مليلتر من المحلول الصمغي)

رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7	8
عدد القطرات	100	80	60	40	20	10	5	3
ماء مقطر (مل)	50	50	50	50	50	50	50	50

تجرى عملية قياس الامتصاصية بعد أربع دقائق من تحضير العينات، وترسم الامتصاصية بدلالة عدد القطرات. تقاس الامتصاصية للماء المراد فحصه، وتحسب درجة العكارةاستنادا" إلى المنحني البياني العياري.

2– طريقة السيليس:

تجرى القياسات باستعمال مقياس العكارة (Turbidimétre) المعتمد على مقارنة ظاهرة تيندال في الماء العكر مع ماء شاهد بوساطة القياسات الضوئية.
يحضر محلول السيليس (100 مغ / لتر) ويستعمل هذا المحلول لتحضير محاليل أخرى ممددة بالماء المقطر، كما هو موضح في الجدول (7 – 11).

الجدول 7 – 11: تحضير محاليل السيليس المستعملة لقياس درجة العكارة.

رقم العينة	مليلتر من محلول السيليس	مليلتر من الماء المقطر	تركيز العينة (مغ / لتر)
1	30	0	100
2	24	6	80
3	18	12	60
4	12	18	40
5	6	24	20
6	3	27	10
7	1.5	28.5	5

يمزج كل من المحاليل الواردة في الجدول أعلاه إلى أن تحدث حالة التجانس، وتملأ خلية الجهاز بالمحلول وتترك مدة أربع دقائق قبل إجراء قياس الامتصاصية، ويرسم المنحني البياني العياري للامتصاصية بدلالة تركيز السيليس.
تقاس الامتصاصية العينة المائية المراد فحصها وتقارن نتيجة القياس مع المنحني البياني العياري لمعرفة درجة العكارة، حيث أن(1 مغ / لتر) من السيليس تعادل درجة واحدة.

3 – طريقة نيفلوميتري Néphélometrie:

تسمح طريقة نيفلوميتري بحساب تركيز المعلق وأبعاد الجسيمات المعلقة، ويستعمل لهذه الغاية جهاز يسمى باسم الطريقة (Néphélometre)، وتتلخص طريقة عمله بمقارنة شدة الضوء المتبعثر داخل المعلق المدروس بشدة الضوء المتبعثر داخل محلول شاهد.

تقدر درجة العكارة بوحدات تسمى وحدات فورمازين(Formazine)، ويحضر المحلول العياري الأساسي المتمتع بدرجة من العكارة قدرها 40 وحدة فورمازين كالآتي:

يمزج 5 مليلترات من محلول كبريتات الهيدرازين ذي تركيز قدره (1% وزنا") مع 5 مليلترات من محلول سداسي ميتيلين رباعي الأمين ذي تركيز قدره (10% وزنا")، ويترك المزيج مدة 24 ساعة في الدرجة 25^{o} مئوية، ومن ثم يكمل الحجم إلى 100 مليلتر بالماء المقطر، يمدد المحلول السابق عشر مرات بالماء المقطر للحصول على محلول عياري معادل 40 درجة عكارة من درجات فورمازين.

يرسم المنحني البياني العياري اعتمادا على عدة عينات محضرة بتمديد المحلول العياري الأساسي (0، 5، 10، 15، 20، 30، 40 مرة)، وتقاس العينة المجهولة وتقارن النتيجة مع المنحني العياري لتحديد درجة عكارتها.

وهناك حاليا" في الأسواق أنواع عدة من الأجهزة والمحاليل العيارية الجاهزة لقياس العكارة بطريقة النيفلوميتري.

7. 5 قياس حموضة الماء وقلويته:

7. 5. 1 قياس حموضة الماء:

تنتج حموضة الماء عن وجود ثنائي أكسيد الكربون المنحل، أو الحموض المعدنية، أو الأملاح المنحلة والمكونة من شق حمضي قوي وشق قاعدي ضعيف، ويفضل حفظ العينات في الدرجة (4^{o} م) وفي قوارير من البلاستيك، وتجرى التحاليل خلال 24 ساعة من لحظة أخذ العينة.

آ) قياس الحموضة الكلية Acidité Totale:

تقاس الحموضة الكلية بوساطة محلول هيدروكسيد الصوديوم واستعمال مشعر الفينول فتالئين (0.5% فينول فتالئين في محلول مكون من 50% كحول إتيلي و 50% ماء مقطر)، تجري المعايرة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (0.02 نظامي) إلى أن يظهر اللون الوردي، فإذا كان

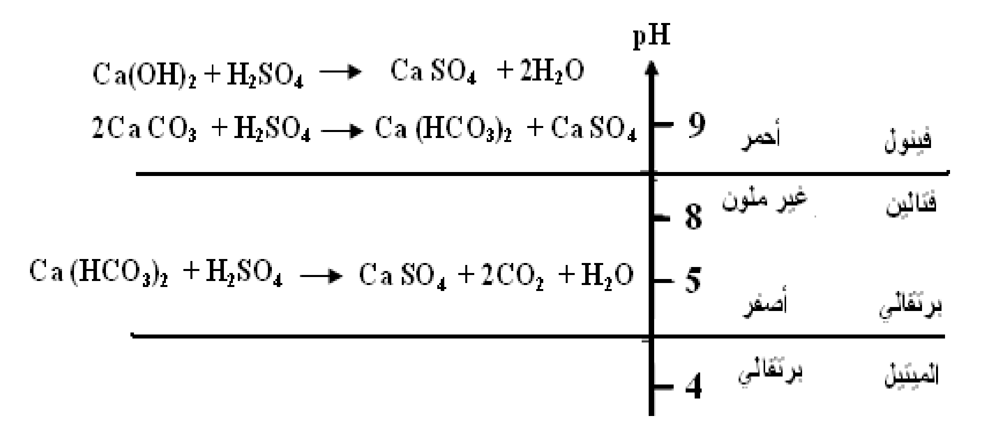
حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم المستعمل للمعايرة يعادل (n_1 مل) فإن الحموضة الكلية تساوي [0.2 x (n_1)] ميلي مكافىء غرامي في اللتر.

ب) معيار الحموضة الشديدة (Titre en Acide Fort (TAF:

يعاير 100 مل من الماء باستعمال هيدروكسيد الصوديوم (0.02 نظامي) مع إضافة قطرتين من كاشف برتقالي الميتيل (0.5% في الماء المقطر)، فإذا لزم (n_2) مل من هيدروكسيد الصوديوم لظهور اللون البرتقالي، فإن الحموضة الشديدة تعادل [0.2 x(n_2)] ميلي مكافئ غرامي.

7. 5. 2 قياس قلوية الماء:

تقاس قلوية الماء باستعمال محلول عياري من حمض معدني مع وجود مشعر فينول فتالين الذي يعطي القلوية البسيطة (TA) أو مشعر برتقالي المتيل حيث نحصل على القلوية الكلية (TAC)، ويظهر اللون الأحمر لمشعر فينول فتالين عندما يكون pH الوسط مساويا" القيمة 8.3، أي بعد تفاعل شوارد الهيدروكسيد ونصف الكربونات وهذا ما يسمى بالقلوية البسيطة (TA)، أما في حالة استعمال مشعر برتقالي الميتيل، فإن نقطة التحول تحدث عند قيمة pH الوسط مساوية 4.3، وفي هذه الشروط تكون كافة الكربونات والكربونات الحمضية وشوارد الهيدروكسيد قد تفاعلت، ولذلك فإن كمية الحمض المستعملة للمعايرة تعبر عن القلوية الكلية (TAC)، يعرض المخطط الوارد في الشكل (7 – 4) التفاعلات الكيميائية التي تجري في الحالتين.



الشكل 7 – 4: مخطط يوضح التفاعلات الكيميائية الجارية عند قياس قلوية الماء.

يمكننا تحديد مكونات قلوية الماء وهي (OH^- , HCO_3^- , CO_3^{--}) من خلال قياس قلوية الماء البسيطة والقلوية الكلية، ويسمح الجدول (7 – 12) بالحصول على تركيز مختلف الأملاح المنحلة اعتمادا" على قيم كل من (TA) و (TAC).

الجدول 7 – 12: العلاقة بين TA و TAC وتركيز كل من OH^- , CO_3^{--} , HCO_3^- .

<table>
<tr><th rowspan="2">الأملاح المنحلة</th><th rowspan="2">مغ/ درجة فرنسية</th><th colspan="5">قيم TA و TAC</th></tr>
<tr><th>TA = 0</th><th>TA < TAC / 2</th><th>TA = TAC / 2</th><th>TA > TAC / 2</th><th>TA = TAC</th></tr>
<tr><td>OH^-</td><td>3. 4</td><td rowspan="6">0</td><td rowspan="6">0</td><td rowspan="6">0</td><td rowspan="6">2 TA - TAC</td><td rowspan="6">TAC</td></tr>
<tr><td>CaO</td><td>5. 6</td></tr>
<tr><td>$Ca(OH)_2$</td><td>7. 4</td></tr>
<tr><td>MgO</td><td>4. 0</td></tr>
<tr><td>Na OH</td><td>5. 8</td></tr>
<tr><td>$Mg(OH)_2$</td><td>8</td></tr>
<tr><td>CO_3^{--}</td><td>6. 0</td><td rowspan="4">0</td><td rowspan="4">2 TA</td><td rowspan="4">TAC</td><td rowspan="4">2(TAC – TA)</td><td rowspan="4">0</td></tr>
<tr><td>$Ca\,CO_3$</td><td>10. 0</td></tr>
<tr><td>$Mg\,CO_3$</td><td>8. 4</td></tr>
<tr><td>$Na_2\,CO_3$</td><td>10. 6</td></tr>
<tr><td>HCO_3^-</td><td>12. 2</td><td rowspan="4">TAC</td><td rowspan="4">TAC -2 TA</td><td rowspan="4">0</td><td rowspan="4">0</td><td rowspan="4">0</td></tr>
<tr><td>$Ca(HCO_3)_2$</td><td>16. 2</td></tr>
<tr><td>$Mg(HCO_3)_2$</td><td>14. 6</td></tr>
<tr><td>$NaHCO_3$</td><td>16. 8</td></tr>
</table>

1 – الكواشف المستعملة:

- حمض كلور الماء (0.02 نظامي).
- محلول فينول فتالين (0.5%) محضر في الكحول الإيتيلي (50%) والماء (50%).
- محلول برتقالي الميتيل (0.5%) محضر في الماء المقطر.

2 – طريقة العمل:

يعاير(100 مل) من الماء مع حمض كلور الماء وبوجود قطرتين من المشعر فينول فتالين، وليكن(V_1) الحجم اللازم للمعايرة، وتتابع معايرة العينة نفسها بعد إضافة قطرتين من مشعر برتقالي الميتيل، ولنفرض أن الحجم اللازم للمعايرة (V_2) وهي تمثل أيضا" الحجم الكلي.

3 – الحسابات:

مقدرة بالدرجة الفرنسية $T_A = V_1$

مقدرة بميلي مكافئ غرامي $T_A = V_1/5$

درجة فرنسية $TAC = V_2 - 0.5$

أما إذا قدرت بميلي مكافئ غرامي فإنها تساوي:

$$TAC = (V_2 - 0.5) / 5$$

تطرح القيمة (5 .0 مل) من الحجم الكلي للحمض اللازم للمعايرة وذلك نظرا إلى استهلاك المشعر لها عند تحول لونه.

3 – معايرة ثنائي أكسيد الكربون (CO_2):

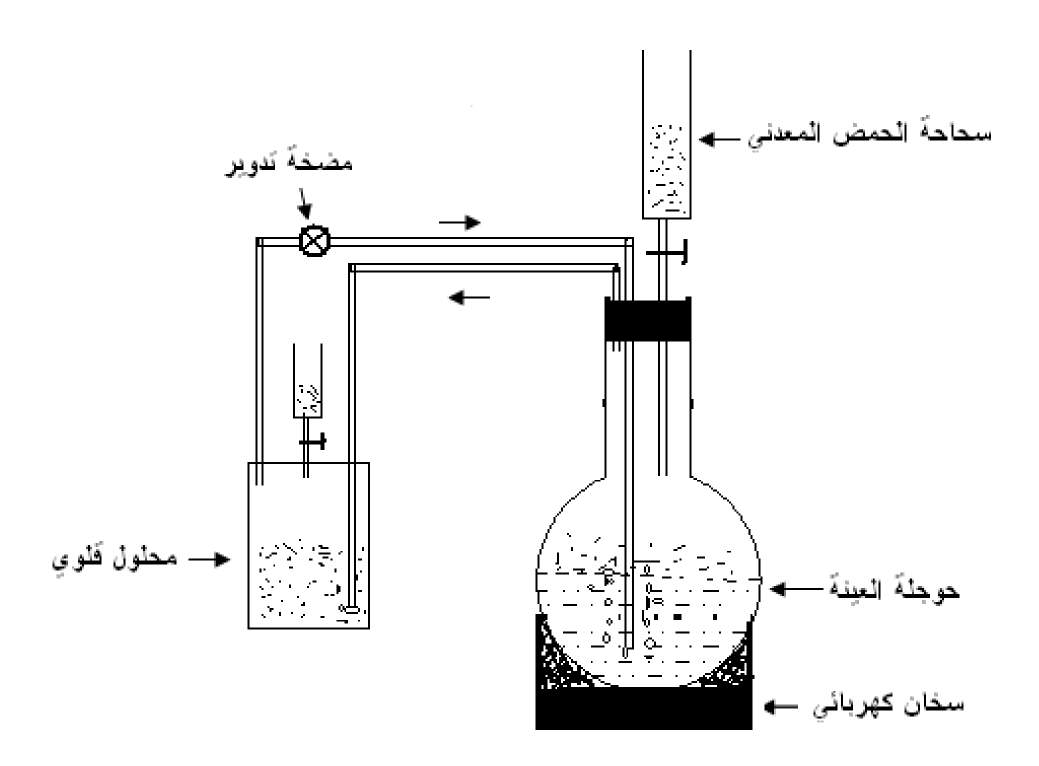
آ) طريقة التحول الكلي:

1 – مبدأ الطريقة :

يحرر ثنائي أكسيد الكربون الموجود في صيغة كربونات أو كربونات حمضية بوساطة حمض معدني، ويمرر الهواء الخالي من ثنائي أكسيد الكربون على العينة المائية ليحمل معه ثنائي أكسيد الكربون المتحرر إضافة إلى ثنائي أكسيد الكربون الحر الموجود أصلا" في العينة، يمرر الهواء ضمن حوجلة تحوي محلول هيدروكسيد الباريوم حيث ينحل غاز ثنائي أكسيد الكربون ويتفاعل مع هيدروكسيد الباريوم، يعاير هيدروكسيد الباريوم المتبقي باستعمال حمض كلور الماء، ثم تجرى عملية حساب كمية ثنائي أكسيد الكربون الكلية.

2 – الجهاز المستخدم:

يتألف الجهاز المستعمل من حوجلة تحتوي العينة المراد معايرتها وهي مغلقة بسدادة تخترقها ثلاثة أنابيب، واحد للهواء الداخل إلى الحوجلة، وآخر لخروج الهواء المحمل بثنائي أكسيد الكربون، والثالث متصل بسحاحة تستعمل لإدخال الحمض المعدني، تثبت تلك الحوجلة على سخان كهربائي، ويذهب الهواء المحمل بثنائي أكسيد الكربون إلى كأس مليء بهيدروكسيد الباريوم (الشكل 7 – 5).



الشكل 7 – 5: الجهاز المستعمل لقياس ثنائي أكسيد الكربون بطريقة التحول الكلي.

3 – الكواشف :

- حمض الكبريت (0.1 نظامي).
- محلول مشعر الفينول فتالين في الكحول الإيتيلي بنسبة (0.1%).
- حمض كلور الماء (0.02 نظامي) مضافا له(20 مل / لتر) من محلول المشعر المحضر أعلاه.
- محلول هيدروكسيد الباريوم (0.02 نظامي).
- محلول مشعر عباد الشمس (0.1%).

4 – طريقة العمل :

يوضع 50 مليلترا" من محلول هيدروكسيد الباريوم (0.02 نظامي) في الكأس، و 200 مليلتر من الماء المراد تحليله في الحوجلة مع قطرتين من كاشف عباد الشمس، ويمرر الهواء عبر الحلقة المغلقة، ويضاف حمض الكبريت (0.02 نظامي) إلى ماء الحوجلة حتى يظهر اللون الأحمر، يضاف بعد ذلك 20 مليلترا" من حمض الكبريت لضمان تحرير كامل الكمية من ثنائي أكسيد الكربون المشكل للكربونات والكربونات الحمضية المنحلة في ماء العينة، يسخن المحلول

حتى درجة الغليان مع استمرار مرور الهواء مدة 15 دقيقة بعد بدء الغليان، تعاير كمية هيدروكسيد الباريوم المتبقية في الكأس بعد مرور غاز ثنائي أكسيد الكربون عبرها وتعديله لها، وتجري المعايرة تلك باستعمال حمض كلور الماء (0.02 نظامي) مع استعمال الفينول فتالين كمشعر.

5 – الحسابات:

ليكن (V_1 مل) حجم حمض كلور الماء اللازم لمعايرة 50 مليلترا" من محلول هيدروكسيد الباريوم قبل إجراء التجربة, و(V_2 مل) هو الحجم اللازم لمعايرة محلول هيدروكسيد الباريوم بعد التجربة (بعد إمرار الغاز عبر المحلول)، فإن الفرق بينهما ($V_1 – V_2$) يعبر عن حجم محلول حمض كلور الماء المعدل لكمية غاز ثنائي أكسيد الكربون المتحررة من العينة المائية، ويمكن حساب تلك الكمية بدلالة الكربونات كالآتي:

ثنائي أكسيد الكربون الكلي مقدرا" بمليغرام في اللتر والناتج عن (HCO_3^-) في العينة يعادل $(V_1 - V_2)x\ 3.5$.

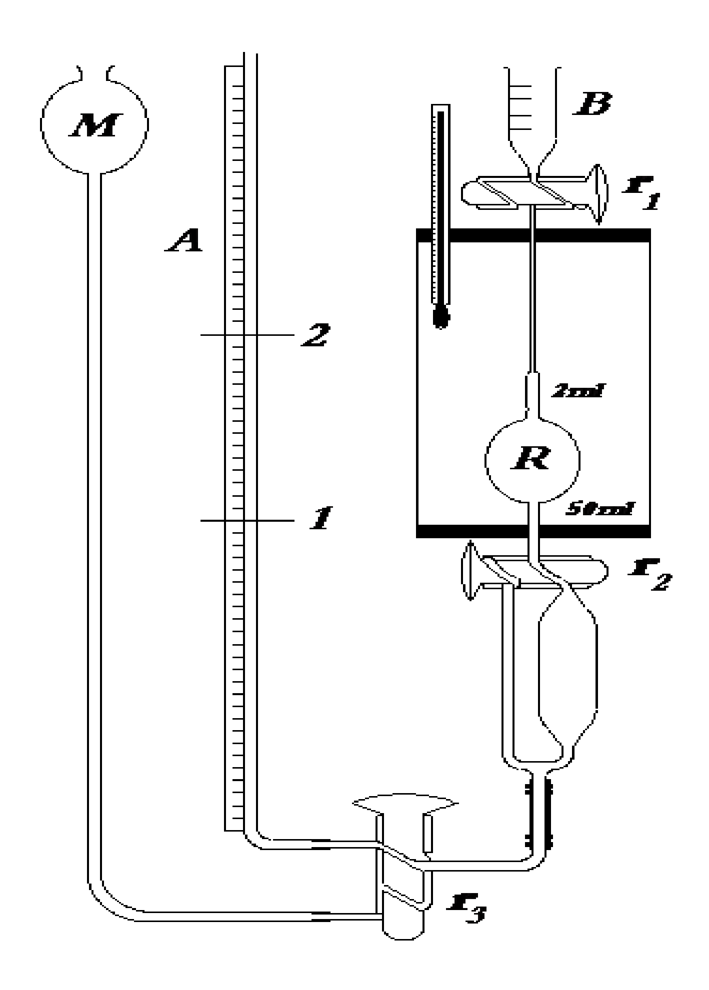
ثنائي أكسيد الكربون الكلي مقدرا" بمليغرام في اللتر والناتج عن (CO_3^{--}) في العينة يعادل $(V_1 - V_2)x\ 3$.

ب) طريقة فانسليك VAN SLYKE:

تعتمد الطريقة على تحلل الكربونات والكربونات الحمضية بحمض معدني أو حمض اللبن، وتستخلص الغازات المنحلة بالماء بعد عملية التحلل(CO_2 , N_2 , O_2) بوساطة عملية التفريغ، ويقاس حجمها باستعمال مقياس الضغط الزئبقي، تمرر الغازات بعد ذلك على محلول هيدروكسيد الصوديوم ليتم التخلص من غاز (CO_2) ويعاد قياس حجمها من جديد لمعرفة حجم غاز(CO_2) وهو الموافق للفرق بين الحجمين السابقين المقاسين.

2 – الجهاز المستعمل:

يستعمل لهذه الغاية جهاز فانسليك الموضح في (الشكل 7 – 6). حيث يتألف الجهاز من خزان للزئبق M متصل بمقياس للضغط A وحوجلة التفاعل R (سعتها 50 مليلترا") والمتصلة بقمع B ، تحاط حوجلة التفاعل بمنظم حراري لإجراء التجربة في حرارة ثابتة.



الشكل 7 – 6: جهاز فانسليك VAN SLYKE.

3– الكواشف :

الزئبق، وحمض اللاكتيك (حمض اللبن) تركيزه (10 غ/لتر)، وهيدروكسيد الصوديوم (100 غ / لتر)، ومحلول مشعر برتقالي الميتيل (0.1%)

4 – طريقة العمل:

- يغلق الصنبور(r_3) ويفتح الصنبور(r_2)، ويوضع خزان الزئبق في المستوى (1).
- تدخل كمية من الماء المراد معايرته (10 مليلترات) إلى حجرة التفاعل عن طريق القمع B، ويفتح الصنبور الواصل بين حجرة التفاعل وخزان الزئبق (صنبور r_3) وكذلك الصنبور (r_1).

- عندما يصل الماء إلى مستوى الصنبور (r_1) يغلق الصنبور (r_3) ويوضع في القمع عدة قطرات من كاشف برتقالي الميتيل و 0.8 مليلترا" من حمض اللبن بغية تفكيك الكربونات في الماء.
- يفتح من جديد الصنبور (r_3) ليتصل خزان الزئبق مع حجرة التفاعل، ويغلق الصنبور (r_1)، ثم يخفض مستوى خزان الزئبق M لإحداث حالة تفريغ للضغط داخل حجرة التفاعل.
- يوضع خزان الزئبق على مستوى إشارة (50 مليلترا") في أسفل حجرة التفاعل ويغلق الصنبور (r_3) ثم يرفع مستوى خزان الزئبق للمستوى (1) ويغلق الصنبور (r_2).
- بعد تحرر غاز ثنائي أكسيد الكربون نتيجة تفكك الكربونات في حجرة التفاعل، يفتح الصنبور (r_2) وتوصل حجرة التفاعل مع خزان الزئبق M بوساطة الصنبور (r_3)، ويجعل مستوى السائل يصل إلى الإشارة (2 مليلترا").
- يكون الغاز تحت الضغط (P_1) ضمن الشروط الموضحة أعلاه، ويمكن قياسه بإحداث اتصال مباشر بين حجرة التفاعل ومقياس الضغط A عن طريق الصنبور (r_3).
- يضاف إلى حجرة التفاعل (0.2 مليلترا") من هيدروكسيد الصوديوم عن طريق القمع B مع الانتباه إلى عدم إدخال فقاعات هوائية، يمتص هيدروكسيد الصوديوم غاز ثنائي أكسيد الكربون من داخل حجرة التفاعل.
- يعاد الاتصال بين R و M ويخفض مستوى M إلى أن يصل الزئبق إلى المستوى (2 مليلترا") الواقع في أعلى حجرة التفاعل، وبذلك يكون الغاز تحت ضغط جديد قيمته (P_2) يمكن قراءته على مقياس الضغط. إن فرق الضغط بين الحالتين يعادل الضغط الجزئي لغاز ثنائي أكسيد الكربون.

5 – الحسابات:

تعطي العلاقة الآتية حجم غاز ثنائي أكسيد الكربون المتحرر من العينة المائية :

$$V = (P_1 - P_2)\frac{a \cdot i}{760\,(1 + 0.00384\,t)}\left(1 + \frac{S \cdot a'}{A - S}\right)$$

حيث تمثل الرموز الواردة في العلاقة الآتي:

V – حجم غاز ثنائي أكسيد الكربون في الدرجة صفر مئوية والضغط 760 مم زئبق.

P_1 – الضغط المقاس قبل امتصاص غاز ثنائي أكسيد الكربون من قبل محلول هيدروكسيد الصوديوم.

P_2 – الضغط المقاس بعد امتصاص غاز ثنائي أكسيد الكربون من قبل محلول هيدروكسيد الصوديوم.

a – حجم الغاز (2 مليلترا")، t – درجة الحرارة، S – حجم عينة الماء والكواشف المضافة.

A – حجم حجرة التفاعل (50 مليلترا")، `a – معامل التوزع لغاز ثنائي أكسيد الكربون بين الطور السائل والطور الغازي والمعطى قيمه بدلالة درجة الحرارة في الجدول (7 – 13).

i – معامل إعادة انحلال الغاز في السائل ويساوي إلى (1.014) لغاز ثنائي أكسيد الكربون، أما للغازات الأخرى (CO , H_2 , N_2 , O_2) فيساوي الواحد تقريبا".

الجدول 7 – 13: معامل التوزع لغاز ثنائي أكسيد الكربون بين الطورين الغازي و السائل بدلالة درجة الحرارة.

درجة الحرارة م°	15	16	17	19	20	22	25	30
$a` \times 10^3$	946	922	901	864	848	812	756	665

ج) معايرة ثنائي أكسيد الكربون الحر:

يعاير ثنائي أكسيد الكربون الحر في الماء باستعمال محلول هيدروكسيد الصوديوم لتعديله، تُضاف كمية من هيدروكسيد الصوديوم تكفي لتعديل غاز ثنائي أكسيد الكربون الحر وتزيد قليلا"، تعاير الكمية الزائدة من هيدروكسيد الصوديوم بوساطة محلول حمض معدني، وتحسب بعد ذلك كمية هيدروكسيد الصوديوم المستهلكة في عملية التعديل والمكافئة لغاز ثنائي أكسيد الكربون الحر.

7. 6 قياس دلائل التلوث الكيميائي العضوي:

7. 6. 1 قياس الأكسجين المنحل في الماء:

يعدّ قياس الأكسجين المنحل في الماء عملية مهمة وضرورية للأنواع المختلفة من المياه (مياه الشرب، مياه سطحية، مياه صرف،....،.... .)، حيث تتوقف نوعية مياه الشرب على نسبة الأكسجين المنحل، لأن انخفاض تلك النسبة يعطي مياها" غير مستساغة الطعم، بينما يفضل انخفاض تلك النسبة في مياه التبريد الصناعية تجنبا للتآكل، أما كمية الأكسجين المنحلة في المياه الطبيعية، وتحول تلك الكمية بدلالة الزمن في حوجلة مغلقة، فإنها تؤلف مقياسا" أساسيا" للتلوث العضوي، ويمكن قياس الأكسجين المنحل بطريقتين:

آ) طريقة كيميائية:

تعتمد هذه الطريقة على المعايرة الحجمية للأكسجين المنحل استنادا" إلى خواصه المؤكسدة.

1 – التفاعلات الكيميائية للمعايرة:

$$MnSO_4 + 2NaOH \longrightarrow Mn(OH)_2 + Na_2SO_4$$

$$3Mn(OH)_2 + (O) \longrightarrow Mn_3O_4 + 3H_2O$$

$$Mn_3O_4 + 2KI + 4H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + 3MnSO_4 + K_2SO_4 + 4H_2O$$

$$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \longrightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$$

2 – الكواشف:

- حمض الكبريت المركز.
- محلول فلور البوتاسيوم (400 غرام / لتر من $KF, 2H_2O$).
- محلول قلوي من يود البوتاسيوم وأزيد الصوديوم (NaN_3): يحضر المحلول بحل(15 غراما") من يود البوتاسيوم و(35 غراما") من هيدروكسيد الصوديوم في(80 غراما") ماء" مقطرا"، ويضاف للمحلول السابق (1 غرام) من أزيد الصوديوم المنحل في (10 مليلترات) ماء" مقطرا"، ويكمل الحجم إلى (100 مليلتر) بالماء المقطر للحصول على محلول قلوي من يود و أزيد الصوديوم، يضاف أزيد الصوديوم إلى الكواشف من أجل إزالة النتريت من العينة المائية. لأن وجود النتريت في العينة المائية يؤثر في نتائج قياس الأكسجين المنحل نتيجة تدخله في تفاعلات الأكسدة والإرجاع.

- محلول كبريتات المنغنيز: ويحضر بحل (480 غراما" من $MnSO_4,4H_2O$) في الماء المقطر وإتمام الحجم إلى اللتر.
- محلول من تيوسولفات الصوديوم (0.0125 نظامي)، تجرى إذابة (3.102 غراما") من تيوسولفات الصوديوم ($Na_2S_2O_3$, 5 H_2O) في لتر من الماء المقطر.
- المشعر: يستعمل النشاء أو التيودين(10 غرامات/ لتر) أو أي مشعر آخر مناسب.

3 – طريقة المعايرة:

يجري تثبيت الأكسجين مباشرة بعد الحصول على العينة بإضافة (1 مليلتر) من محلول كبريتات المنغنيز، و (1 مليلتر) من المحلول القلوي، وتمزج العينة مع الكواشف على نحو جيد دون السماح للأكسجين الجوي بالدخول إلى الزجاجة الحاوية على عينة الماء المراد معايرته، تترك العينة لترقد مدة لا تقل عن خمس دقائق، حيث يتكون راسب أبيض. يضاف بعد ذلك (2 مليلترا") من حمض الكبريت المركز لإذابة الراسب تماما"، وتعاير العينة بمحلول تيوسولفات الصوديوم (0.0125 نظامي) بوجود المشعر لمعرفة نقطة التحول، وتعطى كمية الأكسجين المنحلة بالعلاقة الآتية:

$$O_2 = \frac{8000 \cdot V_2 \cdot t \cdot V_1}{V_0 \; (V_2 - 2)}$$

حيث: O_2 – كمية الأكسجين مقدرة بالمليغرام في اللتر.

V_1 – حجم محلول تيوسولفات الصوديوم مقدرا بالمليلتر.

t – عيارية محلول التيوسولفات (0.0125 نظامي).

V_0 – حجم الكمية التي جرت معايرتها بتيوسولفات الصوديوم مقدرة بالمليلتر.

V_2 – حجم العينة المائية مقدرة بالمليلتر.

يضاف عادة (1 مليلتر) من محلول فلور البوتاسيوم قبل إضافة حمض الكبريت بهدف التخلص من تأثير شوارد الحديد في المعايرة، ولكن في حالة احتواء العينة المائية على تراكيز عالية من العناصر المؤكسدة أو المرجعة (نتريت، حديد، كرومات،...،... .) تصبح هذه الطريقة غير صالحة لإعطاء نتائج دقيقة وجيدة.

ب) الطريقة الكيميائية الكهربائية:

تعتمد على إرجاع الأكسجين باستعمال مسرى موافق مما يولد تيارا" متناسبا" مع الضغط الجزئي للأكسجين المنحل.

يجري القياس باستعمال أجهزة خاصة بذلك (الشكل7 – 7)، ومجهزة بالمسرى المناسب مع وجود غشاء نوعي يسمح بإمرار الأكسجين ويحيط بالمسرى. تعطي تلك الأجهزة قيمة تركيز الأكسجين المنحل بالماء مباشرة، وتسمى مقياس الأكسجين (Oxygénomètre).



الشكل 7 – 7: صورة جهاز قياس الأكسجين المنحل في الماء.

7. 6. 2 تحديد الطلب الكيميائي على الأكسجين(DCO):

يسمح هذا القياس بتقدير كمية المركبات القابلة للأكسدة، ولذلك فإنه يستعمل كعامل مقارنة بين ماء مصفى والماء نفسه قبل التصفية لمعرفة فعالية التصفية، ويمثل أيضا إحدى دلائل التلوث، وخاصة لمياه الصرف الصناعية.

آ) طريقة المعايرة الكيميائية:

تعتمد الطريقة الأكثر شيوعا" على أكسدة المركبات المنحلة في الماء باستعمال محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم($K_2Cr_2O_7$) في وسط حمضي وبوجود وسيط من كبريتات الفضة وكبريتات الزئبق، تعاير الكمية المتبقية من ثنائي كرومات البوتاسيوم بعد الأكسدة بوساطة محلول من ملح مور(كبريتات الحديدي النشادرية).

1 – الكواشف :

- كبريتات الزئبق المتبلورة.

- محلول كبريتات الفضة في حمض الكبريت المركز (6.6 غرام / لتر).
- محلول كبريتات الحديدي النشادرية (0.25 نظامي): يحضر هذا المحلول بحل (98 غراما") من ملح مور ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4$, 6 H_2O) في الماء المقطر ويضاف إليه (20 مليلترا") من حمض الكبريت المركز، ويتمم الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.
- محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم (0.25 نظامي): يحضر هذا المحلول بحل (12.2588 غراما") من الملح المجفف لثنائي كرومات البوتاسيوم في لتر من الماء المقطر.
- مشعر فيروان (Ferroine): يحضر المشعر بحل (1.485 غراما") من المركب (1 – 10 – فينانترولين) مع (0.695 غراما") من كبريتات الحديدي في (100 مليلتر) ماء" مقطرا". علما" أن هذا المحلول متوافر عادة في الأسواق ضمن عبوات خاصة.

2 – طريقة العمل :

يوضع (50 مليلترا") من الماء المراد تحليله في حوجلة سعتها (500 مليلتر)، ويضاف إلى العينة (1 غرام) من كبريتات الزئبق و (5 مليلترات) من محلول كبريتات الفضة، وبعد الإذابة الكاملة للملحين السابقين، يضاف إلى العينة (25 مليلترا") من محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم و(70 مليلترا") من حمض الكبريت المركز، وتسخن الحوجلة بوجود مبرد مثبت على فوهتها مدة ساعتين عند درجة الغليان، تبرد الحوجلة، ويمدد محتواها إلى (350 مليلترا") تقريبا بالماء المقطر مع إضافة عدة قطرات من مشعر فيروان. تعاير كمية ثنائي كرومات البوتاسيوم المتبقية داخل الحوجلة بعد إجراء عملية الأكسدة تلك، وتجرى المعايرة باستعمال محلول كبريتات الحديدي النشادرية، وتعاد التجربة نفسها على (50 مليلترا") من الماء الشاهد (الماء المقطر)، ويحسب الطلب الكيميائي على الأكسجين(DCO) من العلاقة الآتية:

$$DCO = \frac{8000\,(V_o - V_1)\,t}{V}$$

علما" أن:

DCO – الطلب الكيميائي على الأكسجين مقدرا بالمليغرام من الأكسجين في لتر من الماء.

V_o – حجم كبريتات الأمونيوم والحديدي اللازمة لمعايرة العينة (مليلتر).

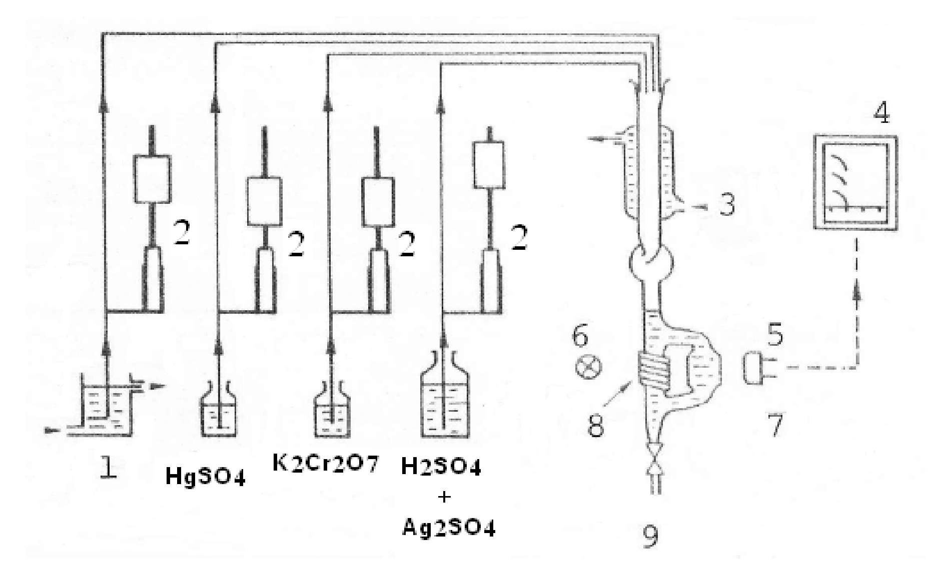
V_1 – حجم كبريتات الأمونيوم والحديدي اللازمة لمعايرة الماء المقطر (مليلتر).

t – نظامية محلول كبريتات الأمونيوم والحديدي.V – حجم العينة المائية (مليلتر).

أما الثابت (8000) فإنه ناتج من الوزن الجزيئي وحساب التركيز في اللتر.

ب) قياس الطلب الكيميائي على الأكسجين آليا":

يقاس الطلب الكيميائي على الأكسجين آليا" بضخ العينة المائية والكواشف بوساطة مضخات خاصة، ويجري التفاعل ضمن مفاعل يتلقى العينة المائية والكواشف، ويحاط المفاعل بوشيعة تسخين للمحافظة على درجة الغليان في أثناء القياس. كما ويحتوي الجهاز كاشفا" ضوئيا" للكروم الثلاثي الذي يتناسب تركيزه في الوسط مع تركيز المواد المتأكسدة، وبالتالي يمكن حساب الطلب الكيميائي على الأكسجين(DCO)، ويوضح الشكل (7 – 8) مخطط ذلك الجهاز.



1- العينة المائية، 2- مضخة، 3- ماء تبريد، 4- المسجل، 5- الكاشف الضوئي، 6- مصدر الأشعة،7- المفاعل، 8- جهاز التسخين، 9- فوهة للتفريغ،

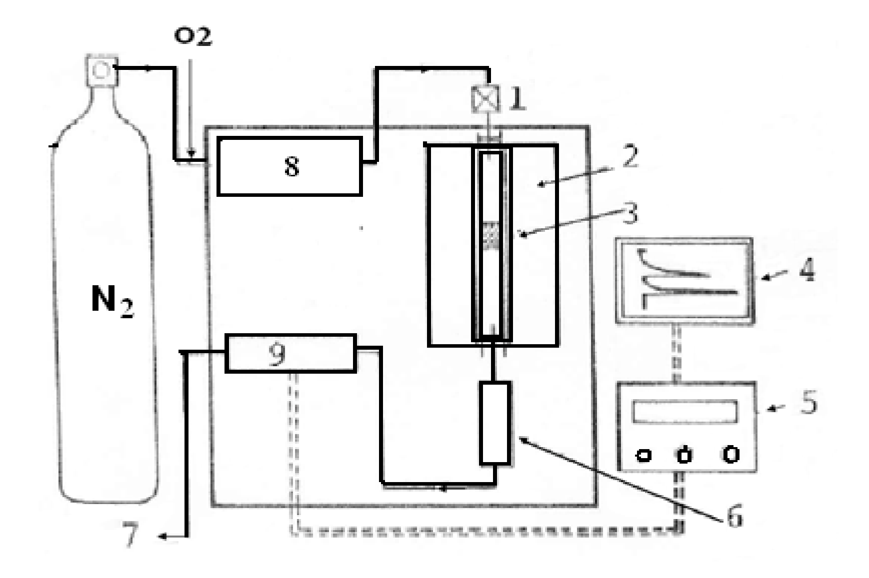
الشكل 7 – 8: مخطط جهاز قياس الطلب الكيميائي على الأكسجين آليا".

7. 6. 3 تحديد الطلب الكلي على الأكسجين (DTO):

يقاس الطلب الكلي على الأكسجين باستعمال تفاعل الأكسدة الوسيطية للمركبات العضوية(MO) بوساطة الأكسجين، ويمكن تمثيل تفاعل الأكسدة بالمعادلة الكيميائية الآتية:

$$MO + O_2 \xrightarrow[\text{تسخين}]{\text{وسيط}} CO_2 + H_2O + \ldots$$

يتبع التفاعل السابق بقياس كمية الأكسجين المستهلكة وبالتالي تحديد الطلب الكلي على الأكسجين، ويؤخذ بالحسبان الأكسجين المنحل في العينة المائية وخاصة في حالة المياه قليلة التلوث. يجري التفاعل في الدرجة (900° م) باستعمال أكسجين محمول ضمن غاز خامل (الآزوت) ويقاس الفرق بين الأكسجين الداخل والأكسجين الخارج من المفاعل، ويوضح الشكل(7– 9) مخطط الجهاز المستعمل لقياس الطلب الكلي على الأكسجين، وتعطي هذه الطريقة قيما" أعلى من الطلب الكيميائي على الأكسجين(DCO) وذلك لأن درجة أكسدة الآزوت الداخل في بنية المواد المنحلة في الماء(المعدنية والعضوية) أعلى بكثير في حالة (DTO) مما هي عليه في شروط عمل (DCO)، علما" أن مردود أكسدة المركبات العضوية لا يختلف كثيرا" في الحالتين.



1– الحاقن، 2–فرن، 3– وسيط من البلاتين،4– مسجل، 5– محلل غاز ثنائي أكسيد الكربون، 6– تجفيف الغاز ،7– خروج الغاز ، 8– معايرة الأكسجين الداخل، 9– معايرة الأكسجين الخارج

الشكل 7 – 9: مخطط جهاز قياس الطلب الكلي على الأكسجين.

7. 6. 4 تحديد قابلية الأكسدة باستعمال برمنغنات البوتاسيوم:

تجرى عملية الأكسدة الكيميائية للمركبات العضوية والمعدنية باستعمال برمنغنات البوتاسيوم على البارد أو على الساخن، ويسمح هذا الاختبار بتقدير كمية المركبات العضوية وبعض العناصر المعدنية القابلة للأكسدة ضمن هذه الشروط.

1 – الكواشف:

- محلول برمنغنات البوتاسيوم (0.0125 نظامي)، إن مليلترا" واحدا" من هذا المحلول يعادل (0.1 مليغرام) من الأكسجين المؤكسد.
- محلول كبريتات الحديدي النشادرية، يذاب (24.5 غراما") من ملح مور ($FeSO_4(NH_4)_2SO_4 , 6 H_2O$) في لتر من الماء المقطر.
- محلول حمض الكبريت (50 % وزنا").

2 – القياس على البارد:

يوضع (50 مليلترا") من الماء المراد تحليله في حوجلة، ويضاف إليه (5 مليلترات) من حمض الكبريت و (50 مليلترا") من محلول البرمنغنات، يمزج الجميع جيدا" ويترك مدة أربع ساعات في درجة حرارة المختبر، يضاف إلى المزيج السابق (10 مليلترات) من محلول كبريتات الحديدي النشادرية لكي تعدل البرمنغنات المتبقية، وتعاير الكمية الزائدة من كبريتات الحديدي النشادرية بمحلول البرمنغنات، إن كمية البرمنغنات المستعملة للمعايرة الأخيرة تعادل كمية البرمنغنات التي استهلكت للأكسدة، وبالتالي فإن كل مليلتر واحد منها يعادل (0.1 مليغرام) أكسجين.

3 – القياس على الساخن:

تجرى ذات المراحل الواردة في طريقة التحليل على البارد مع إضافة عملية تسخين مدة عشر دقائق تحت درجة الغليان لزيادة مردود الأكسدة، ثم تجرى المعايرة.

7. 6. 5 تحديد الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين (DBO):

إن كمية الأكسجين المستهلكة لا تعود إلى عملية أكسدة المركبات العضوية فقط، بل إلى أكسدة المركبات المعدنية أيضا، مثل النتريت وأملاح الأمونيوم، إضافة إلى حاجة الخلايا الحية من الأكسجين من أجل عملية التكاثر، ولكن بالرغم من ذلك يظل (DBO) قياسا سائدا" ومعبرا" عن درجة التلوث العضوي للمياه.

آ) طريقة التمديد:

تعتمد طريقة التمديد على تحديد كمية الأكسجين المستهلكة في الدرجة (20^o م) لعينة من الماء الممددة بماء مقطر وغني بالأكسجين.

1– تحضير ماء التمديد:

لتحضير ماء التمديد، يضاف للماء المقطر الأملاح الآتية :

- (5 مليلترات) من محلول الفوسفات المحضر من إضافة (8.5 غراما") من ملح (Na_2HPO_4 , 2 H_2O) و (2.78 غراما") من ملح (KH_2PO_4) في لتر ماء مقطر.
- واحد مليلتر من محلول كلور المغنزيوم ذي التركيز (20 غراما" / لتر).
- واحد مليلتر من محلول كلور الكالسيوم ذي التركيز (25 غراما" / لتر).
- واحد مليلتر من محلول كلور الحديد ذي التركيز (1.5 غراما" / لتر).
- واحد مليلتر من محلول كلور الآمونيوم ذي التركيز (2 غراما" / لتر).

تذاب الكميات السابقة في لتر من الماء المقطر، وتمزج جيدا ثم تترك للتهوية في الدرجة (20^o م) إلى أن يصل تركيز الأكسجين المنحل للقيمة (8 مليغرامات / لتر)، ويضاف (5 مليلترات) من مياه الصرف المرشحة وذلك بهدف زرع البكتريا في الوسط المائي، ويجب استعمال ماء التمديد المحضر خلال 24 ساعة من لحظة تحضيره.

2 – طريقة العمل :

تمدد عينة الماء المراد تحليلها بماء التمديد بنسب مختلفة مع المحافظة على وسط معتدل ($8 < pH < 6$)، وتوضع العينات الممددة في حوجلات زجاجية خاصة، يعاير الأكسجين المنحل في كل حوجلة وبعد ذلك تغلق تلك الحوجلات بسدادات زجاجية مصنفرة ويكون الإغلاق محكما بحيث لا يسمح للهواء الجوي بالتسرب إلى داخل الحوجلة، وتوضع الحوجلات في الدرجة (20^o م) وفي مكان مظلم مدة خمسة أيام من أجل الحصول على (DBO_5) أو مدة 24 ساعة من أجل الحصول على(DBO_{24h}). تجرى معايرة الأكسجين المتبقي في العينات، وتجرى معايرة الأكسجين في عينة تحتوي ماء التمديد فقط وقد كانت موضوعة في شروط العينات المائية المحللة نفسها.

تحسب قيمة (DBO_5) مقدرة بالمليغرام من الأكسجين في اللتر من العلاقة الآتية:

$$\mathbf{DBO_5 = F\ (T_o - T_5) - (F - 1)(D_o - D_5)}$$

حيث إن : D_o تركيز الأكسجين (مغ / لتر) في ماء التمديد في بداية التجربة.

D_5 تركيز الأكسجين (مغ / لتر) في ماء التمديد بعد خمسة أيام.

T_o تركيز الأكسجين (مغ / لتر) في ماء العينة في بداية التجربة.

T_5 تركيز الأكسجين (مغ / لتر) في ماء العينة بعد خمسة أيام.

F معامل التمديد.

تقارن النتائج التجريبية لعينات مختلفة في معامل تمديدها للحصول على نتيجة صحيحة من أجل تمديد مناسب وهو يعود إلى درجة تلوث العينة المائية ونوعية التلوث فيها.

3– ملاحظات:

– يفضل استعمال الهواء المرشح لإجراء عملية التهوية.

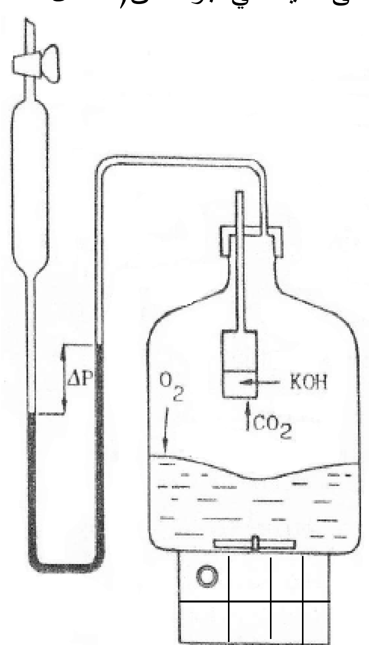
– تعدّ عملية زرع البكتريا مهمة ولاسيما للمياه الطبيعية، لأن هذه الأخيرة قد تكون خالية من البكتريا (مياه الينابيع).

– يجب قياس الأكسجين بعد 24 ساعة على أبعد تقدير من لحظة تحضير العينة الأولية.

– يمكن التأكد من صلاحية النتائج بمقارنتها بمحلول من الفلوكوز تركيزه (300 مليغرام/ لتر) وهو يعطي للدالة (DBO_5) قيمة مساوية إلى (224 ± 10 مغ / لتر) المرجعية .

ب) الطرائق الآلية :

تعتمد الطرائق الآلية على تقنية القياس التنفسي فاربورغ (Warburg) المستندة على متابعة التحولات التي تطرأ على العينة في جو مغلق(الشكل 7 – 10).

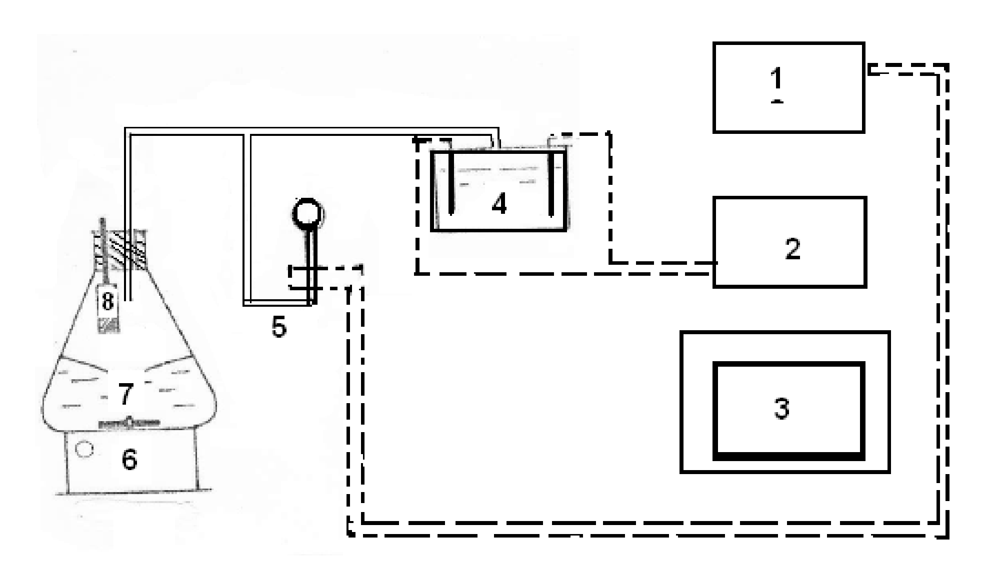


الشكل 7 – 10: جهاز قياس الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين بطريقة قياس الضغط.

إذا امتصت كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون المتحررة بوساطة محلول هيدروكسيد البوتاسيوم، فإن تحولات الضغط تعبر عن كمية الأكسجين المستهلك من قبل البكتريا في عملية تحلل المركبات العضوية حيويا"، وهناك أنواع مختلفة من الأجهزة المعتمدة على هذا المبدأ، وهي تختلف فيما بينها بطريقة قياس الأكسجين، فمنها ما يعمل تحت ضغط ثابت وتقاس كمية الأكسجين الداخلة إلى حوجلة العينة وكمية الأكسجين الخارجة منها، وبالتالي يمثل الفرق بينهما

كمية الأكسجين المستهلك، ومنها ما يعتمد على قياس فرق الضغط بين الحالة البدائية والحالة النهائية لحوجلة مغلقة (الشكل 7 – 10)، وبالتالي حساب الأكسجين المستهلك من فرق الضغط.

يوضح الشكل (7 – 11) مخططا" لجهاز القياس التنفسي الإليكتروليتي (Respirometre Électrolytique)، الذي يستخدم خلية التحليل الكهربائي لتعويض الأكسجين المستهلك في العينة، ويجري ذلك بشكل تلقائي عن طريق كاشف خاص لقياس انخفاض الضغط وبالتالي تشغيل الخلية الكهربائية، وتساوي الكمية المولدة من قبل الخلية كمية الأكسجين المستهلك في عملية التحلل العضوي الحيوي (DBO) داخل العينة المغلقة .



1– مغذي كهربائي، 2– مقياس كهربائي ومنظم، 3– مسجل، 4– الخلية الإلكتروليتية المولدة للأكسجين، 5– مقياس ومنظم الضغط، 6– محرك، 7– العينة المائية، 8– KOH

الشكل 7 – 11: جهاز قياس الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين بطريقة التنفس الإلكتروليتي.

تتمتع الطرائق الآلية بميزات عديدة مقارنة مع طريقة التمديد وأهمها:

- شروط القياس أقرب إلى الحالة الطبيعية (معالجة حيوية) من طريقة التمديد.
- تجنب الأخطاء الناتجة عن عملية التمديد، ولاسيما ما يتعلق بتثبيط الفعل الحيوي نتيجة التمديد.
- تسمح الطرائق الآلية بالحصول على تحولات الطلب الحيوي الكيميائي بدلالة الزمن.

- يمكن استعمال عينات ذات أحجام كبيرة، مما يقلل من نسبة الخطأ الناتج عن استعمال حجوم صغيرة جدا" من العينة، ولاسيما في حالة تمتع العينات المراد تحليلها بحمولة عالية من (DBO_5) أو (MES).

ولكن يجب مراعاة بعض العوامل للحصول على نتائج مرضية أهمها:

- تحريك سريع للسماح لغازي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون بالانتقال السريع بين الطورين بحيث تكون سرعة الانتشار أكبر من سرعة الاستقلاب.
- يجب تأمين فعالية عالية في اصطياد غاز ثنائي أكسيد الكربون المتحرر بوساطة KOH.

ويعرض الشكل (7 – 12) نموذجا" من الأجهزة الحديثة لقياس الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين بطريقة التنفس الإلكتروليتي.



الشكل 7 – 12: جهاز قياس التنفس الإلكتروليتي (Respirometre Électrolytique).

7. 6. 6 معايرة الكربون العضوي الكلي (COT):

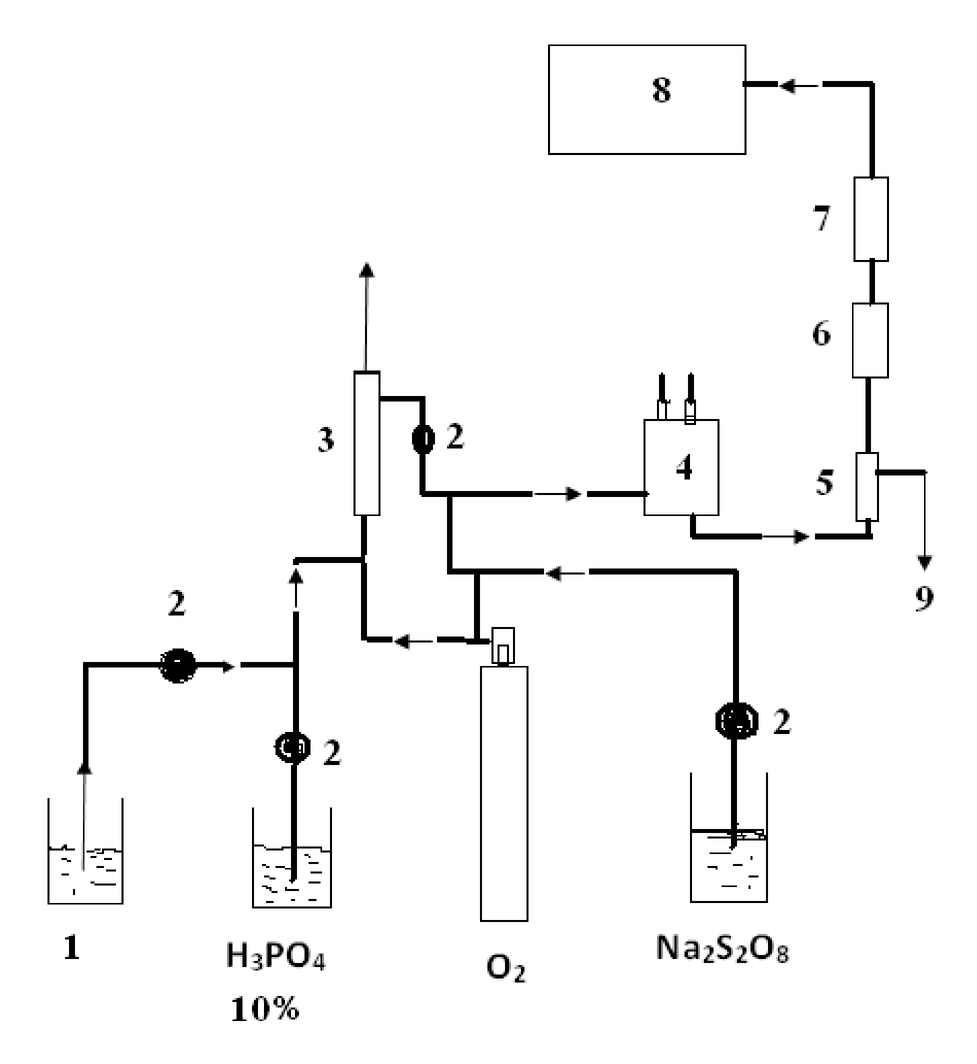
تمت الاستعاضة في معظم الأحيان عن تحليل(DCO وDBO) في محطات المعالجة وفي مخابر المياه وفي المراكز البحثية، بتحليل الكربون العضوي الكلي (Carbone Organique Total).

يعتمد جهاز قياس (COT) على الأكسدة الوسيطية للمركبات المعدنية والعضوية، وتحويلها إلى غاز ثنائي أكسيد الكربون والماء، حيث يجري تحليل غاز ثنائي أكسيد الكربون الناتج عن تفاعل الأكسدة باستعمال جهاز الأشعة تحت الحمراء، وهناك نوعان من الأجهزة المستعملة، ففي النوع

الأول، تجرى عملية الأكسدة بالأكسجين وباستعمال وسيط معدني وفي درجة حرارة عالية (950^{o} م)، بينما تتم عملية الأكسدة في النوع الثاني بوساطة مؤكسد قوي وبوجود الأشعة فوق البنفسجية ضمن مفاعل زجاجي، والنتائج المستحصل عليها في الحالتين تمثل الكربون الكلي (عضويا" ومعدنيا") في العينة المائية المختبرة، ولذلك يجب التخلص من الكربون المعدني قبل إجراء القياس بمعالجة العينة بحمض معدني وطرد غاز ثنائي أكسيد الكربون المتكون بوساطة قرقرة الوسط بغاز (الآزوت، الأكسجين، الهواء)، علما" أن هناك أجهزة تقيس الكربون المعدني على نحو مستقل عن الكربون العضوي وذلك بإجراء عملية أكسدة للعينة بوجود وسيط من حمض الفُسفور المشرب على حامل خاص وفي الدرجة (150^{o} م).

1 – أجهزة قياس الكربون العضوي مباشرة:

يوضح الشكل (7 – 13) مخططا" لأحد الأجهزة المستعملة لقياس الكربون العضوي مباشرة بعد التخلص من الكربون المعدني قبل الأكسدة، بتحميض العينة بحمض الفُسفور وإجراء عملية قرقرة لها بالأكسجين، وتجرى عملية الأكسدة في الجهاز أعلاه باستعمال نظام الأكسدة الجامع بين مؤكسد قوي ($S_2O_8^{-2}$) والأشعة فوق البنفسجية (UV) في وسط رطب، إن غاز ثنائي أكسيد الكربون الناتج عن أكسدة المركبات العضوية في المفاعل يمر عبر مرشحات لتنقيته قبل دخوله إلى جهاز التحليل المعتمد على الأشعة تحت الحمراء عند طول الموجة (4 .4 ميكرومتر).

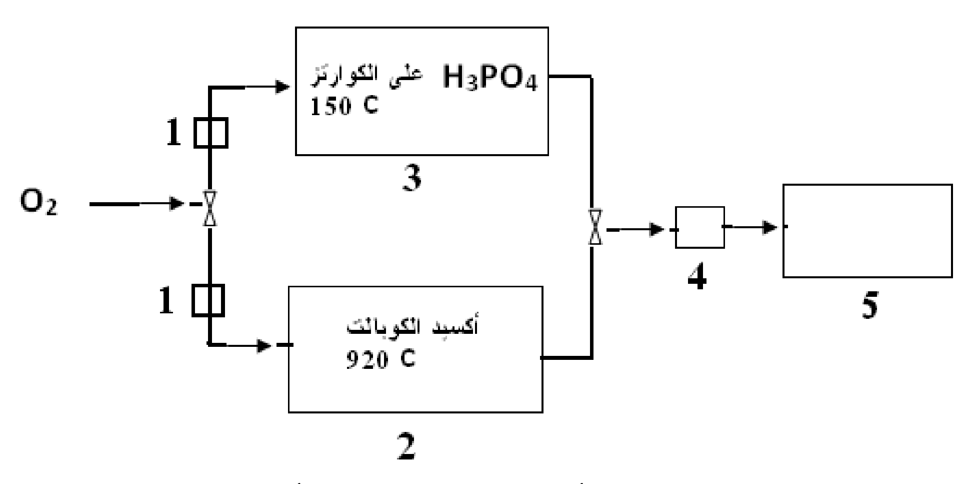


1– العينة المائية،2– مضخة،3– طارد الغازات،4–المفاعل، 5– أنبوب فصل الغاز عن السائل، 6– مرشح، 7– مرشح من القطن الزجاجي، 8– جهاز التحليل ، 9– البقايا بعد التفاعل.

الشكل 7– 13: مخطط جهاز قياس الكربون العضوي باستعمال مؤكسد قوي في وسط سائل.

2 – أجهزة لقياس الكربون العضوي على نحو غير مباشر:

يوضح الشكل (7 – 14) مخططا" لجهاز قياس الكربون الكلي وقياس الكربون المعدني ثم حساب الفرق بينهما والممثل للكربون العضوي الكلي (COT).



1– منظم للغاز،2– فرن لأكسدة الكربون الكلي،3– فرن لأكسدة الكربون المعدني،
4– مرشح، 5– جهاز تحليل بالأشعة تحت الحمراء،

الشكل 7 – 14: مخطط جهاز قياس الكربون الكلي بالأكسدة على وسيط وفي درجة حرارة عالية.

3 – كاشف غاز ثنائي أكسيد الكربون:

تستخدم عدة طرائق للكشف عن غاز ثنائي أكسيد الكربون هي:

- الأشعة تحت الحمراء (λ = 4. 4 ميكرونا").
- كاشف يستخدم التشرد بالشعلة، وتجري بعد عملية إرجاع غاز ثنائي أكسيد الكربون إلى غاز الميتان بوساطة الهيدروجين ووجود وسيط معدني خاص بذلك.
- الكاشف المعتمد على الناقلية الكهربائية.

ملاحظات:

– تتميز طريقة قياس الكربون العضوي مباشرة بعد التخلص من الكربون المعدني بخاصيتين سلبيتين هما:

• خسارة المركبات العضوية سريعة التبخر خلال عملية نزع الغازات من العينة.

• إمكان ترسب حموض الدبال نتيجة عملية تحميض العينة.

– تعدّ طريقة قياس الكربون العضوي على أساس الفرق بين الكربون الكلي والكربون المعدني غير صالحة للمياه الضعيفة التلوث العضوي (مياه الشرب) لكون الكربون المعدني يساوي الكربون الكلي في هذه الحالة.

– تتمكن بعض التقنيات من قياس الكربون العضوي الكلي (المنحل وغير المنحل) بينما يقتصر بعضها على قياس الكربون العضوي المنحل فقط.

ويعرض الشكل (7 – 15) صورة جهاز قياس الكربون الكلي بالأكسدة الوسيطية، وبطريقة آلية.



الشكل 7 – 15: جهاز قياس الكربون العضوي الكلي بطريقة الأكسدة الوسيطية آليا".

7. 6. 7 معايرة آزوت الأمونيا(الآزوت النشادري):

هناك طرائق عديدة لمعايرة آزوت الأمونيا، وتختار الطريقة المناسبة وفقا لتركيز الآزوت في الماء ولوجود شوارد أخرى مثل الكلور والحديد التي تتدخل في عملية المعايرة، وتجري المعايرة على العينة المائية مباشرة، أو تكون مسبوقة بعملية تقطير للعينة المائية.

1 – طرائق المعايرة بدون تقطير:

آ – طريقة القياس الشاردي:

يسمح قياس الفعالية الشاردية للأمونيا في شروط تجريبية محددة (تركيز الشوارد، pH الوسط،...،... .) بتحديد تركيز آزوت الأمونيا في الماء.

1 – الأجهزة:

- مسرى خاص بشوارد الأمونيوم.
- جهاز القياس.
- محرك كهربائي مغناطيسي.

2– الكواشف:

- محلول هيدروكسيد البوتاسيوم (5.6 غراما" / لتر).
- محلول آزوت الأمونيا: ويحضر من اذابة (3.82 غراما") من كلور الأمونيوم في لتر ماء مقطر وهو يعطي محلولا" تركيزه (1 غرام / لتر) من آزوت الأمونيا.

3– المنحني البياني العياري:

يُحضر خمسة محاليل بتراكيز مختلفة من آزوت الأمونيا هي: (0.1 – 1 – 10 – 50 – 100 مليغرام من الآزوت / لتر)، ويوضع 25 مليلترا" من المحلول في كأس سعته 100 مليلتر، ويضاف إليها 25 مليلترا" من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم المحضر أعلاه، ويحرك المحلول مع غمر المسرى في داخله وإجراء القياس للناقلية، تكرر العملية على كل المحاليل الواردة أعلاه، ويرسم المنحني البياني العياري.

4– قياس تركيز العينة المائية:

يوضع 25 مليلترا" من العينة المائية في الكأس، ويضاف إليها 25 مليلترا" من محلول هيدروكسيد البوتاسيوم المحضر أعلاه، وتقاس الناقلية وتقارن مع المنحني العياري لتحديد تركيز العينة المائية، ويجب إجراء القياسات في درجة الحرارة نفسها وفور إضافة محلول هيدروكسيد البوتاسيوم.

ب) طريقة أزرق الإندوفينول:

يعتمد مبدأ الطريقة على تفاعل الأمونيوم مع الفينول وحمض تحت الكلوري (حمض الهيبوكلوري) بوجود وسيط من نيتربروسيات في وسط قلوي ($pH = 10.4 - 11.5$)، ويكوّن التفاعل السابق مركبات من نوع إندوفينول الملونة حيث تقاس امتصاصيتها باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (630 نانومترا"). تستعمل هذه الطريقة للعينات المائية الحاوية على تركيز أعلى من 2 ميكروغرام في اللتر من آزوت الأمونيا.

1– التفاعلات الكيميائية:

$$NH_3 + HOCl \longrightarrow NH_2Cl + H_2O$$

$$NH_2Cl + C_6H_5OH + 2HOCl \longrightarrow C_6H_4NClO + 2H_2O + 2HCl$$

$$C_6H_5OH + C_6H_4NClO \longrightarrow C_{12}H_9NO_2 + HCl$$

2– الكواشف المستعملة:

- محلول قاعدي: يذاب (20 غراما") من هيدروكسيد الصوديوم و (380 غراما") من سيترات ثلاثية الصوديوم ($Na_3C_6H_5O_7 , 2H_2O$) في (800 مليلتر) ماء مقطر، يغلى المحلول مدة 20 دقيقة، ويبرد قبل أن يضاف إليه (4 غرام) من حمض ثنائي كلوريد السيانيد ($C_3HCl_2N_3O_3$) ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، ويحفظ المحلول بالدرجة (4° م).

- محلول الفينول والنيتروبروسات: يذاب في الماء المقطر(35 غراما") فينول و(0.4 غراما") نيتروبروسات الصوديوم ($Na_2FeNO(CN)_5$, $2H_2O$)، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.
- آزوت الأمونيا: يحضر محلول تركيزه (100 مليغرام من شوارد الأمونيوم في اللتر) بإذابة (297 مليغراما") من كلور الأمونيوم في لتر ماء مقطر، ويمدد المحلول السابق عدة مرات للحصول على محلول تركيزه (1 مغ / لتر) وهو يستعمل لتحضير المحاليل العيارية.

3 – طريقة القياس:

يضاف (1 مليلتر) من محلول الفينول ونيتروبروسات الصوديوم و (1 مليلتر) من المحلول القاعدي إلى 20 مليلترا" من الماء المراد معايرته. يمزج المحلول جيدا ويحفظ في الظلام مدة ست ساعات على الأقل قبل إجراء قياس الامتصاصية عند طول الموجة (630 نانو مترا")، وتقارن النتيجة مع المنحني البياني العياري المقاس بالطريقة نفسها، وباستعمال محاليل عيارية تراكيزها محصورة بين (0.1 و 1 مغ / لتر) من شوارد الأمونيوم.

<u>2 – طرائق المعايرة بعد تقطير العينة:</u>

ينزاح الأمونيوم في وسط قاعدي ويستخلص ببخار الماء، وتوضع كمية من عينة الماء المراد معايرته في دورق التقطير، يضاف إلى الماء 20 مليلترا" من محلول كربونات الصوديوم (تركيزه 100 غ / لتر) وبعض القطرات من مادة مضادة للرغوة، علما أن إعطاء نتائج جيدة للتحليل يتطلب وجود كمية محصورة بين (0.2 و 20 مليغراما") من آزوت الأمونيا في العينة المقطرة، وتجرى عملية التقطير مدة 20 دقيقة على الأقل مع تلقي القطارة في محلول حمض البور تركيزه (10 غ / لتر)، وتوقف عملية التقطير بعد التأكد من أن القطارة المتصاعدة لا تحتوي آزوت الأمونيا، تعاير القطارة باستعمال الطريقة الحجمية أو اللونية.

آ) المعايرة الحجمية:

1– الكواشف:

- حمض الكبريت (0.1 نظامي).
- مشعر ملون: يحضر بمزج (50 مليلترا") من محلول كحولي لأحمر الميتيل تركيزه (0.2% وزنا") و 25 مليلترا" من محلول كحولي لأزرق الميتيلين تركيزه (0.2% وزنا").

2 – طريقة العمل:

يضاف بعض القطرات من المشعر الملون إلى القطارة المراد تحليلها (حجمها V)، وتعاير بحمض الكبريت (0.1 نظامي)، لنفرض أن حجم الحمض المستعمل للمعايرة هو (V_1 مليلتر)، يؤخذ حجم مساو لحجم القطارة من الماء المقطر ويضاف إليه (5 مليلترات) من حمض البور، ويعاير بحمض الكبريت بعد إضافة المشعر الملون، لنفترض أن حجم حمض الكبريت اللازم لمعايرة الماء المقطر هو (V_0 مليلتر) فإن تركيز آزوت الأمونيا في العينة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$N\text{-}NH_4^- \ (mg/l) = \frac{(V_1 - V_0) \times 0.1 \times 1000 \times 14}{V}$$

النتيجة المستحصل عليها تمثل قيمة آزوت الأمونيا مقدرة بالمليغرام في اللتر من العينة المائية.

ب) المعايرة اللونية أو طريقة نيسلر (NESSLER):

يتكون مركب ملون (بين الأحمر والأسمر) نتيجة تفاعل شوارد الأمونيوم مع كاشف نيسلر طبقا للمعادلات الآتية:

$$2HgI_2 + 2NH_3 \longrightarrow 2NH_3HgI_2$$

$$2NH_3HgI_2 \longrightarrow NH_2Hg_2I_3 + NH_4^+ + I^-$$

يضاف إلى العينة المائية طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم($C_4H_4O_6KNa$) لمنع تدخل شوارد الكالسيوم والمغنزيوم في المعايرة.

1 – الكواشف :

- كاشف نيسلر: يذاب (13.55 غراما") من ثنائي كلور الزئبق ($HgCl_2$) و (36 غراما") من يود البوتاسيوم في الماء المقطر، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر. يضاف إليه (300 مليلتر) من هيدروكسيد الصوديوم (كثافته 1.336) قبل الاستعمال مباشرة.
- تحضر محاليل معلومة التركيز من شوارد الأمونيوم.

2 – طريقة العمل:

يؤخذ 50 مليلتر من محاليل الأمونيوم المحضرة، ويضاف إليها (2 مليلترا") من طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم، ويكمل الحجم إلى 250 مليلترا" بالماء المقطر، ويضاف بعد ذلك (2 مليلترا") من كاشف نيسلر إلى كل عينة، تمزج المحاليل جيدا" قبل أن يترك ليرقد فترة عشر دقائق.

تقاس امتصاصية المحاليل عند طول الموجة (625 نانومترا")، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز للحصول على المنحني العياري.

تعامل المحاليل أو العينات المائية المجهولة التركيز معاملة العينات العيارية، ويحسب تركيزها استنادا إلى المنحني البياني.

ملاحظات عامة:

- الحد الأدنى للتركيز المقاس بهذه الطريقة هو (0.02 مغ / لتر).
- دقة القياس نحو (± 5 %).
- إذا كانت العينات محفوظة بوجود ملح زئبقي فيجري تحويل الزئبق إلى معقد مع تيوسولفات الصوديوم قبل إجراء عملية التقطير .
- يمكن إجراء المعايرة اللونية باستعمال طريقة إندوفينول، وفي هذه الحالة يستبدل حمض البور بحمض الكبريت في الماء المخصص لتلقي القطارة.
- يجري التخلص من الكلور أمين في العينات قبل إجراء المعايرة (المياه التي تعرضت لعملية كلورة) بإضافة تيوسولفات الصوديوم.
- إن وجود درجة عالية من العكارة يؤثر في نتائج التجربة، كما أن ارتفاع نسبة الحديد المنحل أو المركبات العضوية المنحلة يؤدي إلى ظهور لون أصفر للمياه يجعل عملية التحليل مستحيلة قبل إزالة المركبات المسببة له، فيزال الحديد من العينة بإضافة محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.5 غرام إلى 200 مليلتر من العينة)، أما المركبات العضوية المنحلة فيتم التخلص منها بإضافة (2 غراما") من الفحم المنشط للعينة لامتزازها.
- تصفى العينة المعكرة بإضافة قطرتين من محلول كبريتات النحاس (100غ / لتر) و (1 مليلتر) من محلول هيدروكسيد الصوديوم (50 غ / لتر) ويترك ليرقد.

7. 6. 8 معايرة الآزوت العضوي (آزوت كيلدال KJELDAHL):

تعاير هذه الطريقة الآزوت العضوي وآزوت الأمونيا بعد عملية تمعدن للآزوت العضوي:

$$N\text{-}org \xrightarrow[\text{وسيط – غليان}]{H_2SO_4} NH_4^+$$

ويمرر الناتج في وسط قلوي:

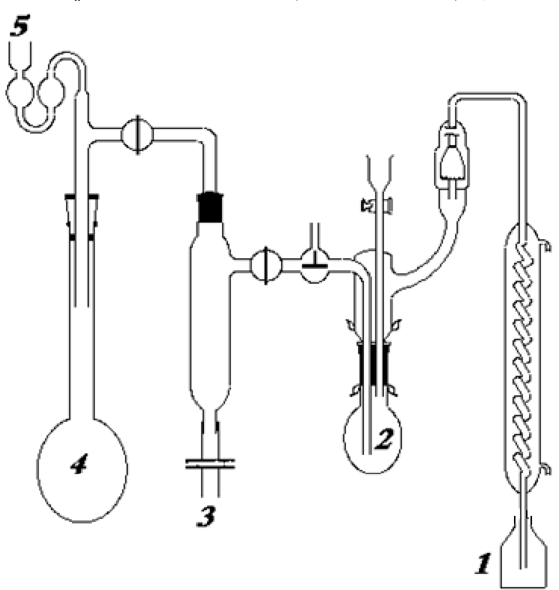
$$NH_4^+ \xrightarrow{OH^-} NH_3 + H_2O$$

وتستقبل الأمونيا الناتجة في حمض البوريك:

$$H_3BO_3 + NH_3 \rightarrow H_2BO_3^- + NH_4^+$$

وتعاير الأمونيا بوساطة مقياس الحموضة أو بوساطة المقياس الطيفي اللوني لشاردة الأمونيوم (NH_4^+).

وتسمح طريقة أزوت كيلدال بمعايرة الآزوت الحيوي (حموض أمينيه, بروتينات)، ولكنها لا تسمح دوما بمعايرة الآزوت الداخل في تركيب بعض المركبات العضوية الآزوتية الصناعية (مثل الهيدرازين وغيرها) ولا الحالات المؤكسدة للآزوت كالنترات والنتريت. تجري عملية استخلاص الأمونيا بوساطة جهاز عادي (الشكل 7 – 16) أو بوساطة جهاز آلي.



1– حمض البور، 2 – المفاعل الحاوي على العينة، 3– بخار ماء متكاثف
4– مولد البخار، 5– أنبوب الأمان.

الشكل 7 – 16: جهاز استخلاص الأمونيا بالبخار.

1- الكواشف المستعملة:

-ماء مقطر، - حمض الكبريت، - محلول من (50%) كلور الحديدي و(50%) حمض كلور الماء، - حمض كلور الماء، - الزئبق، - تحت فوسفيت الصوديوم (Hypophosphite , Na)، - هيدروكسيد الصوديوم، - محلول مشبع من حمض البوريك، - محلول لحمض الكبريت (0.07143 نظامي)، - محلول الهيليانتين (2%).

2- طريقة العمل :

تتم عملية تركيز الآزوت في العينة المائية بالتبخير مع وجود (2 مليلترا") من حمض الكبريت، وعند انتهاء عملية التبخير تقريبا"، يضاف إلى الحوجلة (5 مليلترات) من محلول كلور الحديدي المحضر في حمض كلور الماء، ويضاف أيضا" (5 مليلترات) من حمض كلور الماء النقي للتخلص من آزوت النترات وآزوت النتريت، وتستمر عملية التبخير حتى يتم التخلص الكامل من النترات والنتريت والوصول بالعينة إلى حالة الجفاف تقريبا".

تنقل محتويات الحوجلة وماء الغسيل إلى دورق كلدال، ويضاف إليهم (10 مليلترات) من حمض الكبريت وقطرة من الزئبق، ويسخن بهدوء إلى أن يختفي اللون أو يتحول إلى أصفر باهت، وبعد تبريد الحوجلة يضاف إليها ماء مقطر.

يركب الدورق على جهاز التقطير(الشكل 7 – 16) ويكمل الحجم إلى 200 مليلتر تقريبا" باستعمال الماء المقطر، ويضاف إليهم (2 غراما") من فوسفيت الصوديوم لترسيب الزئبق الأسود اللون، ويضاف إليه هيدروكسيد الصوديوم إلى أن يصبح الوسط قلويا"، وتجري عملية التقطير، وتستقبل الأمونيا الناتجة في محلول حمض البور (20 مليلترا")، وتستمر عملية التبخير عادة حتى تتبخر نصف الكمية التي في الدورق، وتجري المعايرة بمحلول حمض الكبريت (0.07143 نظامي) وبوجود مشعر الهيليانتين، وإذا افترضنا أنه قد تم استعمال (X مليلترا") من محلول حمض الكبريت للمعايرة، فإن تلك القيمة تمثل عدد المليغرامات من الآزوت الذي في العينة المائية المستخدمة للاختبار.

7. 6. 9 معايرة النتريت:

يعاير النتريت فور الحصول على العينة لأنه يتحول بسرعة إلى نترات بالأكسدة الحيوية، وفي حالة عدم الإمكان لتحليله فورا" تحفظ العينة بإضافة كلور الزئبق وفي الدرجة 4^{o} م.

آ) طريقة كاشف زمبلي (Réactif de Zambelli):

يشكل حمض السولفانيليك مع شوارد النتريت (NO_2^-) وبوجود شوارد الأمونيوم والفينول معقدا" أصفر اللون، تتناسب كثافة اللون مع تركيز شوارد النتريت في العينة.

1 –الكواشف :

- هيدروكسيد الأمونيوم (كثافته 0.925).

– كاشف زمبلي: يحضر الكاشف بإذابة (260 مليلترا") من حمض كلور الماء النقي (كثافته 1.19) في الماء المقطر، ويضاف إلى المزيج (5 غرامات) من حمض السولفانيليك ($C_6H_7NO_3S$) و(7.5 غراما") من الفينول ويسخن المزيج بهدوء حتى الإذابة الكاملة، ويضاف بعد ذلك (135 غراما") من كلوريد الأمونيوم ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.

2– طريقة العمل:

يضاف (2 مليلترا") من كاشف زمبلي إلى(50 مليلترا") من العينة المائية المراد تحليلها، وتخلط جيدا" ثم تترك لترقد مدة عشر دقائق، ويضاف بعد ذلك (2 مليلترا") من هيدروكسيد الأمونيوم وتقاس امتصاصية المحلول عند طول الموجة (435 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي، وتقارن النتائج مع منحنٍ بياني عياري محضر بطريقة العينة بنفسها ولكن باستعمال محاليل معلومة التركيز، وتستعمل هذه الطريقة للعينات الحاوية على تركيز من شوارد النتريت أعلى من (50 ميكروغراما" في اللتر).

ب) طريقة السولفانيلاميد:

تعتمد الطريقة على تفاعل الديأزة (Diazotation) للسولفانيلاميد بوساطة النتريت المنحل في الماء، ثم انضمام المركب الناتج إلى ثنائي كلوريد – N – (1 – نفتيل) إتيلين ثنائي ديامين ($C_{10}H_7NHCH_2NH_2$, 2 HCl) معطيا" معقدا" ملونا" قابلا للقياس بالجهاز الطيفي عند طول الموجة (537 نانو مترا").

1 – كاشف الديأزة :

يضاف (100 مليلتر) من حمض الفُسفور المركز و (40 غراما") من السولفانيلاميد ($C_6H_8N_2O_2S$) و (2 غراما") من مركب ($C_{10}H_7NHCH_2NH_2$, 2 HCl) إلى 800 مليلتر ماء مقطر، ويحرك المزيج جيدا" حتى حدوث الإذابة الكاملة ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، يحفظ هذا الكاشف ويستعمل لمدة شهور عديدة.

2- طريقة العمل:

يضاف (1 مليلتر) من كاشف الديأزة إلى (50 مليلترا") من الماء المراد تحليله، ويمزج المحلول تماما" ويترك ليرقد مدة عشر دقائق قبل قياس الامتصاصية عند طول الموجة (537 نانومترا")، تقارن النتيجة مع المنحني البياني العياري لمحاليل معروفة التركيز ومنجزة بالشروط السابقة بنفسها.

ج) قياس تركيز شوارد النتريت باستعمال المسرى النوعي:

تقيس هذه الطريقة تراكيز منخفضة لشاردة النتريت نحو 0.02 مغ / لتر.

7. 6. 10 معايرة الإيروكروم ($C_{43}H_{51}NO_{26}$):

يعدّ الإيروكروم أحد مقاييس التلوث الحيوي نظرا" لوجوده في البول، وهو عبارة عن معقد ملون ذي روابط بيبتيدية تبلغ نسبته في البول (0.3 غراما" / لتر)، ويستعمل هذا القياس في دراسة تلوث مياه المسابح.

1 - الكواشف:

- محلول الألمنيوم: يحضر المحلول بإذابة (4.744 غراما") من كبريتات الألومنيوم والبوتاسيوم المائية ($K\ Al\ (SO_4)_2\ ,\ 12\ H_2O$) في لتر من الماء المقطر.
- محلول فينول فتالين (1%).
- حمض النمل (85%)، وحمض الفُسفور (85%)، وهيدروكسيد الأمونيوم (5%).

- محلول قياسي: يحضر المحلول القياسي بإذابة (1.5 مليلتر) من محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم (1%) مع (7.6 مليلترات) من محلول نترات الكوبلت (5%) في لتر من الماء المقطر، إن تمديد المحلول القياسي خمسين مرة يعطي لونا" مطابقا" للون محلول الإيروكروم ذي التركيز (1 مغ / لتر).

2- طريقة العمل:

ينجز المنحني البياني العياري باستعمال محاليل ممدة للمحلول القياسي حسب القيم الواردة في الجدول (7 - 14).

الجدول 7 - 14: تمديد المحلول القياسي للحصول على محاليل مختلفة في كثافة ألوانها.

محلول قياسي (مل)	صفر	1	2	3
ماء مقطر (مل)	50	49	48	47
لون يوافق تركيز (مغ / لتر) إيروكروم	صفر	1	2	3

تقاس امتصاصية المحاليل الواردة في الجدول أعلاه باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (380 نانومترا")، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز الموافق الوارد في الجدول.

يصب 500 مليلتر من الماء المراد معايرته في كأس سعته واحد لترا"، ويضاف إليه (20 مليلترا") من محلول الألمنيوم وقطرتان من مشعر الفينول فتالين، ويضاف هيدروكسيد الأمونيوم إلى أن يظهر اللون الوردي وتعادل الكمية الزائدة من هيدروكسيد الأمونيوم بحمض الفُسفور بحيث تظل قيمة pH الوسط أقل من (7.8)، ويترك المزيج السابق ليلة كاملة قبل أن تجرى له عملية تثفيل، ويؤخذ الراسب ويحل في (5 مليلترات) من حمض النمل ويكمل الحجم إلى 50 مليلترا" بالماء المقطر، وتقاس الامتصاصية بعد 30 دقيقة عند طول الموجة (380 نانو مترا")، وتقارن بالمنحني البياني العياري لمعرفة التركيز.

7 .7 معايرة الشوارد المنحلة في الماء باستعمال المساري النوعية (Électrodes Spécifiques):

إن قياس التركيز أو الفعالية لشاردة في محلول باستعمال مسرى نوعي عملية سهلة وسريعة، وتشبه عملية قياس pH الوسط. حيث إن مسرى دليل الهيدروجين هو مسرى نوعي بصورة كاملة، إذا" فإن المبدأ والطريقة واحدة في الحالتين، والفرق الأساسي بين مسرى قياس pH ومسرى قياس تركيز الشوارد أن هذا الأخير ليس نوعيا" بصورة كاملة، وبالتالي يجب الأخذ بالحسبان التداخلات المختلفة للشوارد المنحلة في المحلول وتأثيرها على القياس.

وتتوافر حاليا" أجهزة قياس الشوارد (Ionométrie) مجهزة بمعالج قادر على التحكم بالعملية وإعطاء قيمة التركيز مباشرة، ويكون ضبط الجهاز آليا" ولا يحتاج إلى رسم منحنيات بيانية لكون المعلومات مخزنة في ذاكرة الجهاز.

إن فرق الجهد(الكمون) بين مسرى نوعي ومسرى مرجعي في محلول شاردي يتناسب مع تركيز تلك الشوارد في المحلول، حيث إن التركيز يمثل عدد الشوارد ضمن حجم محدد، ولكن ذلك يفترض أن فعالية الشوارد متماثلة، وهذا الافتراض غير صحيح تماما"، حيث تختلف في فعاليتها، وبالتالي فإن الجهاز يقيس الفعالية الشاردية للمحلول وليس التركيز، غير أن المحاليل الممددة

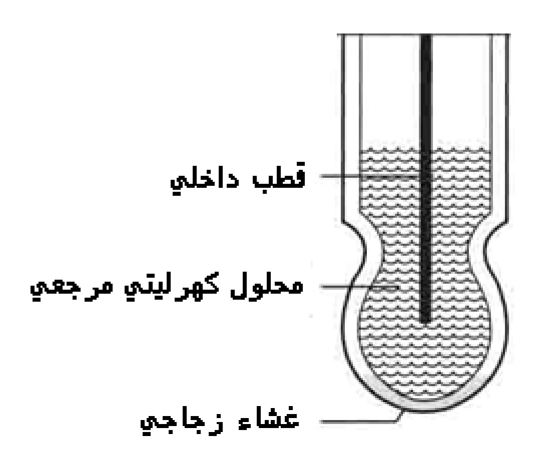
تتقارب بها قيمة الفعالية الشاردية من التركيز، لذلك يفضل إجراء القياسات على محاليل ممددة باستعمال المسرى النوعي.

يمكن تحضير محاليل تتمتع بتطابق بين قيم التركيز والفعالية الشاردية بإضافة محلول كهرليتي خامل للعينة المراد قياس تركيزها، ويسمى المحلول الموقي الشاردي، والذي يقوم بدور ضبط القوى الشاردية في الوسط، ويرمز له ISBA وهواختصار للمصطلح الإنكليزي (Ionic Strength Adjustment Buffer)، وفي هذه الحالة يقيس المسرى النوعي التركيز مباشرة في العينة.

هناك أربعة أصناف من المساري النوعية هي:

1 – مسرى نوعي يحتوي غشاء" زجاجيا":

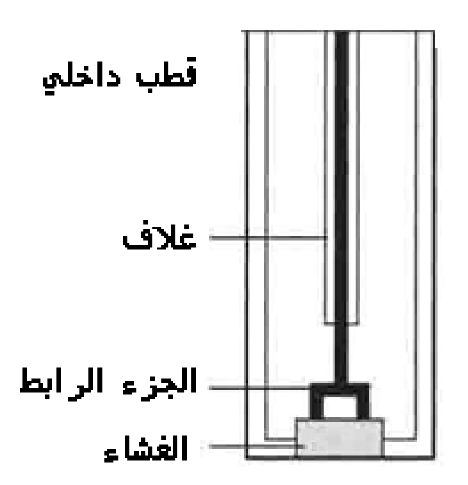
يشمل هذا الصنف المسرى الأكثر انتشارا"، وهو مسرى قياس pH، كما ويوجد مسرى نوعي لشوارد الصوديوم المتضمن فقاعة زجاجية حساسة إلى شوارد الصوديوم (الشكل 7– 17).



الشكل 7 – 17: المسرى النوعي الزجاجي(مسرى قياس pH).

2 – مساري نوعية مع أغشية من مواد صلبة:

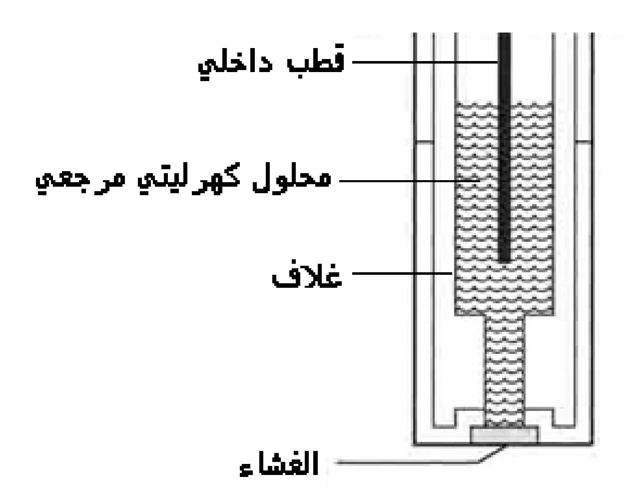
يقاس فرق الكمون بين المسرى المغمور في العينة والمسرى المغمور في المحلول العياري عبر جسم صلب مكون من غشاء بلوري مصقول (الشكل 7 – 18).



الشكل 7 – 18: مسرى نوعي يحوي غشاء مادة صلبة بلورية التكوين.

3 – مساري نوعية مع أغشية بوليميرية صنعية:

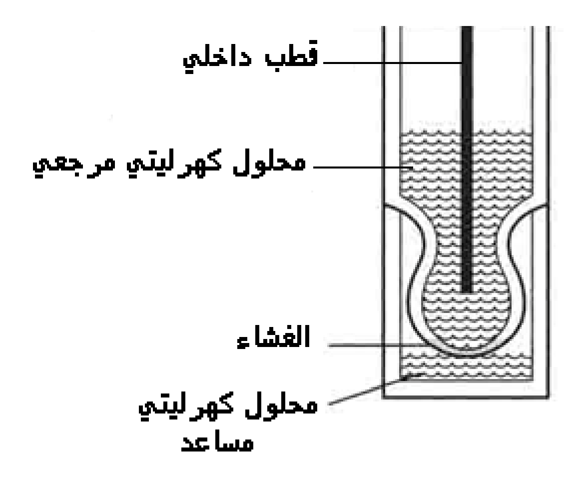
تستعمل هذه المساري أغشية مصنعة من البوليميرات الصلبة (شكل 7 – 19)، ويكون الغشاء معزولا" ويحتوي مبادلات شاردية نوعية.



الشكل 7 – 19: مسرى نوعي يتضمن غشاء" بوليميريا" صنعيا".

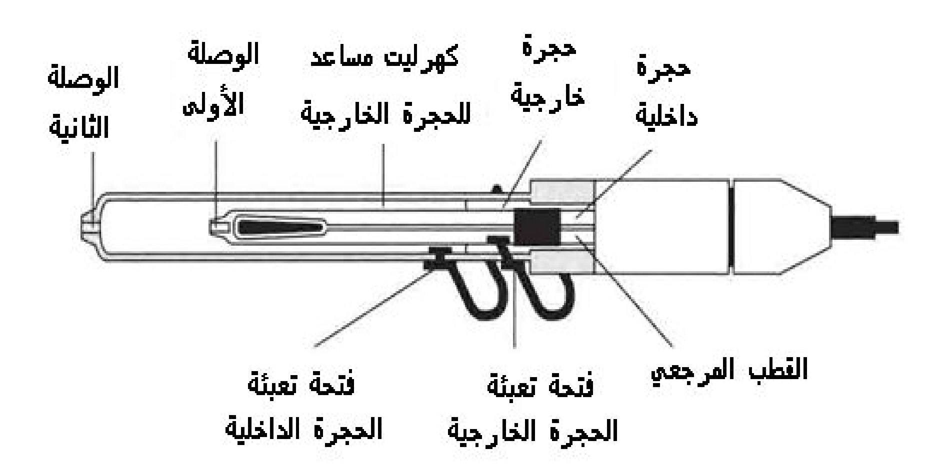
4 – مساري نوعية حساسة للغاز:

تستعمل هذه المساري للكشف على الغازات بما فيها الأمونيا (الشكل 7 – 20).



الشكل 7 – 20: مسرى نوعي حساس للغازات.

يتطلب قياس فرق الكمون ضمن السائل وجود مسرى مرجعي مغمور في المحلول نفسه، ويفضل استعمال مسرى مرجعي من نوع الوصلة المضاعفة (junction double) من أجل تطبيقات المسرى النوعي، لتفادي تسرب المحاليل الكهرليتية المرجعية (KCl) إلى محلول العينة مباشرة، ويعطي الشكل(7 – 21) مخططا" لهذا المسرى.



الشكل 7 – 21: مكونات مسرى مرجعي من نوع الوصلة المضاعفة(Électrode de référence à junction double).

هناك عدة طرائق لقياس التراكيز الشاردية باستعمال المساري النوعية، ولكن أهمها وأكثرها استعمالا":

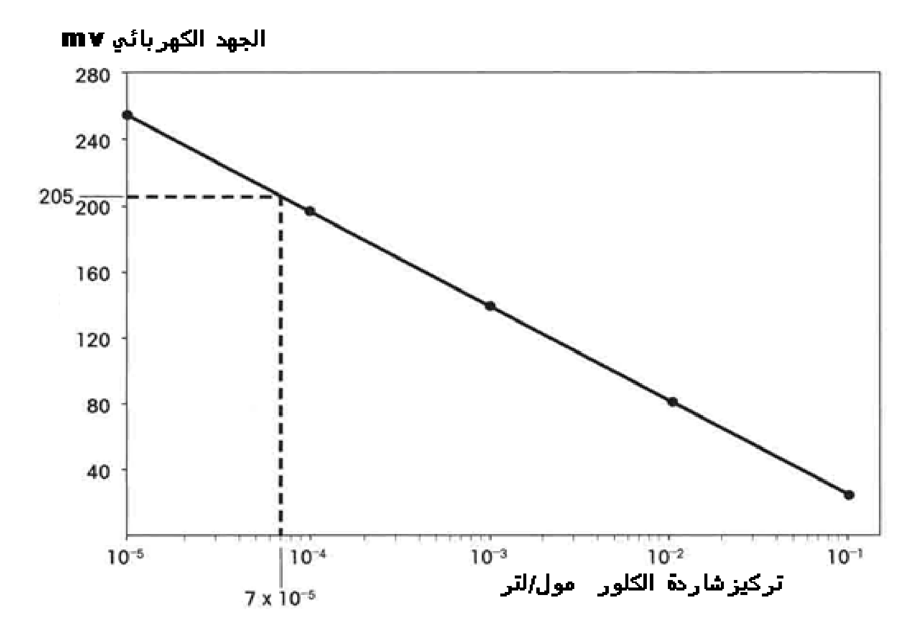
آ) قياس الجهد الكهربائي مباشرة (Potentiométrie Directe):

هذه الطريقة الأسهل والأكثر انتشارا" للحصول على نتائج كمية باستعمال المسرى النوعي. وتجري بتحضير محاليل معلومة التركيز من الشاردة المراد قياس تركيزها، ويضاف إلى تلك المحاليل والعينة مجهولة التركيز المراد تحليلها كمية من المحلول الموقي الشاردي (ISAB) والمميز لكل شاردة على حدة، ثم يعاير جهاز القياس، ويقاس الجهد الكهربائي للعينات العيارية وتخزن في ذاكرة الجهاز نتائج القياس، وعند وضع المسرى في عينة مجهولة تظهر على الشاشة قيم التراكيز مباشرة.

مثال، قياس تركيز شاردة الكلور:

- تحضير محاليل من كلور الصوديوم تركيزها يمتد من $1 x 10^{-1}$ إلى $1x10^{-5}$ مول \ لتر.
- يضاف إلى محاليل كلور الصوديوم كميات متساوية من محلول نترات الصوديوم (1 نظامي) وهو المحلول الموقي الشاردي المناسب لشاردة الكلور.
- يوصل المسرى العياري والمسرى النوعي في جهاز القياس، وتتم برمجة الجهاز ضمن مجال تركيز المحاليل العيارية.
- يغمر المسريان في المحاليل العيارية بالترتيب ابتداء" من التراكيز الخفيفة إلى التراكيز الأعلى، ويعاير الجهاز.
- عند هذه المرحلة يكون المنحني البياني العياري قد أنجز وتم تخزينه في ذاكرة الجهاز.
- تحضر العينات المراد تحليلها بالطريقة نفسها التي وردت أعلاه، ويغمر المسريان في كل عينة، وتقرأ تراكيز كل منهم مباشرة على الشاشة.

ويعطي الشكل (7 – 22) مثالا" للمنحني البياني العياري للجهد الكهربائي بدلالة التركيز لشاردة الكلور، وظهور قيمة تركيز عينة حددت من قيمة الجهد الكهربائي لها باستثمار المنحني البياني العياري.



الشكل 7 – 22: المنحني البياني العياري لقياس الجهد بدلالة التركيز لشاردة الكلور باستعمال مسرى نوعي.

ومن الميزات الأساسية لقياس الجهد الكهربائي مباشرة أنه يسمح بقياس سريع لمحاليل ضمن مجال واسع من التركيز.

ب) المعايرة بنقطة وحيدة:

تعتمد هذه الطريقة على قياس جهد نقطة واحدة عيارية (E_1) وجهد العينة المجهولة (E_2) ، ثم حساب التركيز على أساس أن ميل المنحني العياري معروف:

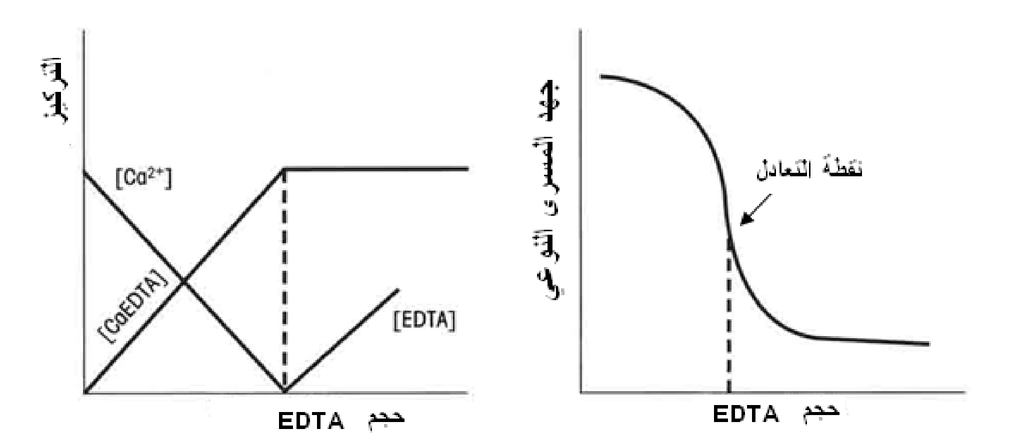
$$Cu = Cs \times 10^{(E_1 - E_2)/S}$$

حيث : Cu– التركيز المجهول، Cs– تركيز المحلول العياري، S – ميل المنحني العياري.

ج) طريقة المعايرة:

يعتمد مبدأ طريقة المعايرة باستعمال مسرى نوعي على كون التفاعلات الكيميائية بين الشوارد تؤدي في نهاية التفاعل إلى اختفاء كامل لشاردة ما أو ظهور شاردة جديدة لم تكن في المحلول

الأولي. ويعد تفاعل شاردة الكالسيوم مع المعقد EDTA مثالا" نموذجيا" لهذا النوع من التفاعلات (الشكل 7 – 23).



الشكل 7 – 23: معايرة الكالسيوم بوساطة EDTA.

عند إضافة محلول EDTA إلى عينة محلول الكالسيوم يتشكل معقد لايتفاعل مع المسرى النوعي، وعند النقطة النهائية من التفاعل (نقطة التعادل) يصبح تركيز شاردة الكالسيوم الحرة في المحلول معدوما"، وبما أن تفكك المعقد المتكون من الكالسيوم و EDTA ضعيفٌ جدا" (أقل من 10^{-10} مول) فإن تحولات الجهد الكهربائي للمسرى تكون معدومة بعد نقطة التعادل، ويمكن حساب تركيز الكالسيوم من كمية محلول المعايرة EDTA المستهلكة للوصول إلى نقطة التعادل.

تعد طريقة المعايرة باستعمال المسرى النوعي دقيقة وتطبق على مجال واسع من الشوارد، فعلى سبيل المثال فإن شاردة الألمنيوم لايمكن قياسها بمسرى نوعي بشكل مباشر، ولكن بمعايرتها مع محلول فلور الصوديوم، يصبح بالإمكان قياس تركيزها باستخدام مسرى نوعي لشاردة الفلور.

رغم أن طريقة المعايرة باستعمال مسرى نوعي تعطي نتائج دقيقة، فإن عددا" من الشوارد لايمكن معايرتها بهذه الطريقة لوجود مشاكل ناتجة عن التوازن الكيميائي أو عن حركية التفاعل.

الشوارد المقيسة بالمساري النوعية:

ظهرت في الأسواق مسارٍ نوعية مصنعة من قبل الشركات المتخصصة في أجهزة التحليل الكيميائي، ونورد في الجدول (7 – 15) أمثلة لبعض الشوارد التي يمكن قياسها بالمساري النوعية المصنعة في شركة عالمية متخصصة بأجهزة التحليل الكيميائي (Thermo – Orion) ومجال

التركيز، علما" أن هذه التقنية أصبحت قادرة على تحليل معظم الشوارد باستعمال المساري النوعية والمنتجة من قبل مئات الشركات العالمية المتخصصة بالتحليل الكيميائي.

جدول 7 – 15: المساري العيارية النوعية ومجال التركيز الذي يمكن قياسه باستعمال هذه التقنية.

الشاردة	مجال التركيز (ppm)	الشاردة	مجال التركيز (ppm)	الشاردة	مجال التركيز (ppm)
NH_4^+	0.01 –17,000	Br^-	0.40 – 79,900	Cd^{++}	0.01 – 11,200
Cl^-	1.8 – 35,500	Ca^{++}	0.02 – 40,000	Cu^{++}	6350 – $6.4x10^4$
CN^-	0.02 -260	F^-	>0.02	BF_4^-	0.6 – 86,800
I^-	0.005-127,000	NO_3^-	0.1 – 14,000 (N)	NO_2^-	0.02- 100
ClO_4^-	0.7- 99,500	K^+	0.04- 39,000	Na^+	0.04- 39,000
SCN^-	0.29 – 58,100	Pb^{++}	0.2-20,700	SCN^-	0.29-58,100

7. 8 معايرة الشوارد المنحلة في الماء باستعمال تقنية الكروماتوغرافيا الشاردية (Chromatographie Ionique):

دخل تعبير الكروماتوغرافيا الشاردية أدبيات الكيمياء التحليلية في عام 1975 مع ظهور نظام الكشف المعتمد على الناقلية {84}، وتعتبر هذه التقنية منافسة جيدة للتقنيات الأخرى المستعملة في تحليل المياه في الوقت الراهن، وخاصة تحليل الشوارد السالبة.

تستعمل تقنية الكروماتوغرافيا الشاردية ضمن مجال واسع جدا" في تحليل الشوارد في الوسط المائي، وتعطي الأجهزة الحديثة دقة ممتازة في التحليل وسهولة في التعامل معها. وتدخل ضمن نظام الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء(Chromatographie Liquide Haute Performance)، ولكن لها خصوصية في عمود الفصل وطرق الكشف عن الشوارد.

7. 8. 1 لمحة نظرية:

الكروماتوغرافيا هي طريقة فيزيائية كيميائية تسمح بفصل مكونات مزيج اعتمادا" على توزع تلك المكونات بين طورين غير قابلين للمزج. يتكون الطور الأول من مادة صلبة(الطور الثابت) وتستقر ضمن عمود الفصل، وطور سائل(الطور المتحرك) الحامل للعينة والعابر لعمود الفصل حيث يتلامس مع الطور الثابت، ويحدث داخل العامود فصل المركبات أو الشوارد عن بعضها قبل عبورها جهاز الكشف.

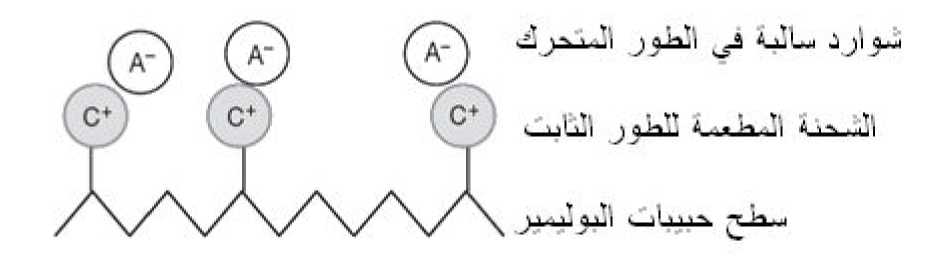
يعمل الطور الثابت على التقاط الشوارد وتثبيتها على سطحه، بينما يعمل الطور المتحرك على نزعها وحملها معه، والتوازن الحاصل بين هذين الفعلين يؤدي إلى فصل تلك الشوارد المكونة للعينة المراد تحليلها، وبالتالي عبورها نظام الكشف على التوالي، وتصبح تقنية التحليل ممكنة عندما يكون معامل التوزيع (Coéfficient de Distribution) للمركبات أو للشوارد المكونة للمزيج مختلف في قيمته{52}.

تعتمد عملية الفصل على ظاهرة التبادل الشاردي، ويمكن تمييز حالتين هما:

- إذا كانت الغاية فصل شوارد موجبة، يستعمل عمود فصل شاردي موجب، حيث يحمل الطور الثابت مراكز قابلة لتبادل الشوارد الموجبة، ويتكون هذا الطور، على سبيل المثال، من بوليمير مطعم بجذر حمضي (SO_3H -).
- أما في حالة فصل الشوارد السالبة، يتم اختيار عمود فصل سالب يحتوي بوليميرا" مطعما" بجذر الأمونيوم.

تؤمن عملية كشف هوية الشوارد وتحليلها كميا" بوساطة نظام الكشف، ويعد جهاز الناقلية الكهربائية الأكثر استعمالا" في الكشف عن الشوارد، ويجري التحليل الكمي باستعمال محاليل عيارية ومقارنة مساحة القمم (Pics) على الكروماتوغرام لتلك المحاليل مع مساحة قمة الشاردة المراد تحليلها.

يحتوي الطور المتحرك شوارد معاكسة في شحنتها للشوارد المثبتة على المبادل الشاردي (الطور الثابت) بهدف التعديل الشاردي للجملة (الشكل 7 – 24).



الشكل 7 – 24: توزيع الشحنات السالبة والموجبة في الطورين المتحرك والثابت.{77}

عندما يحقن الجهاز بعينة تحوي شوارد سالبة (X^-) تدخل ضمن الطور المتحرك، وعند تلامسها مع الطور الثابت تحل تلك الشوارد مكان الشوارد السالبة (A^-) ، ثم تتحرر منه خلال عبور الطور المتحرك لتعود من جديد إلى التبادل على طبقة لاحقة، وهكذا حتى نهاية عمود الفصل، وتكون سرعة الارتباط متعلقة بألفة تلك الشاردة، وفي حالة وجود عدة شوارد مختلفة الألفة، فإن سرعة خروجها من عمود الفصل تختلف بفواصل زمنية تسمح بالكشف عنها. إذا" فإن التسابق على المراكز الفعالة في الطور الثابت بين شوارد العينة وشوارد الطور المتحرك هو الذي يحدد

زمن الاحتفاظ (Temps de Rétention)، ويمكن تحسين عملية الفصل بتغيير الأملاح أو تركيزها أو pH الطور المتحرك.

7 . 8. 2 المعاملات الأساسية للكروماتوغرافيا الشاردية:

آ) حجم الاحتفاظ وزمن الاحتفاظ:

عند فصل مركبين أو شاردتين بوساطة عمود الفصل مع وجود طور سائل متحرك فإن حجم الاحتفاظ V_R (Volume de Rétention) أو زمن الاحتفاظ t_R (Temps de Rétention) من المعاملات المهمة في عملية التحليل، والعلاقة بينهما كالآتي:

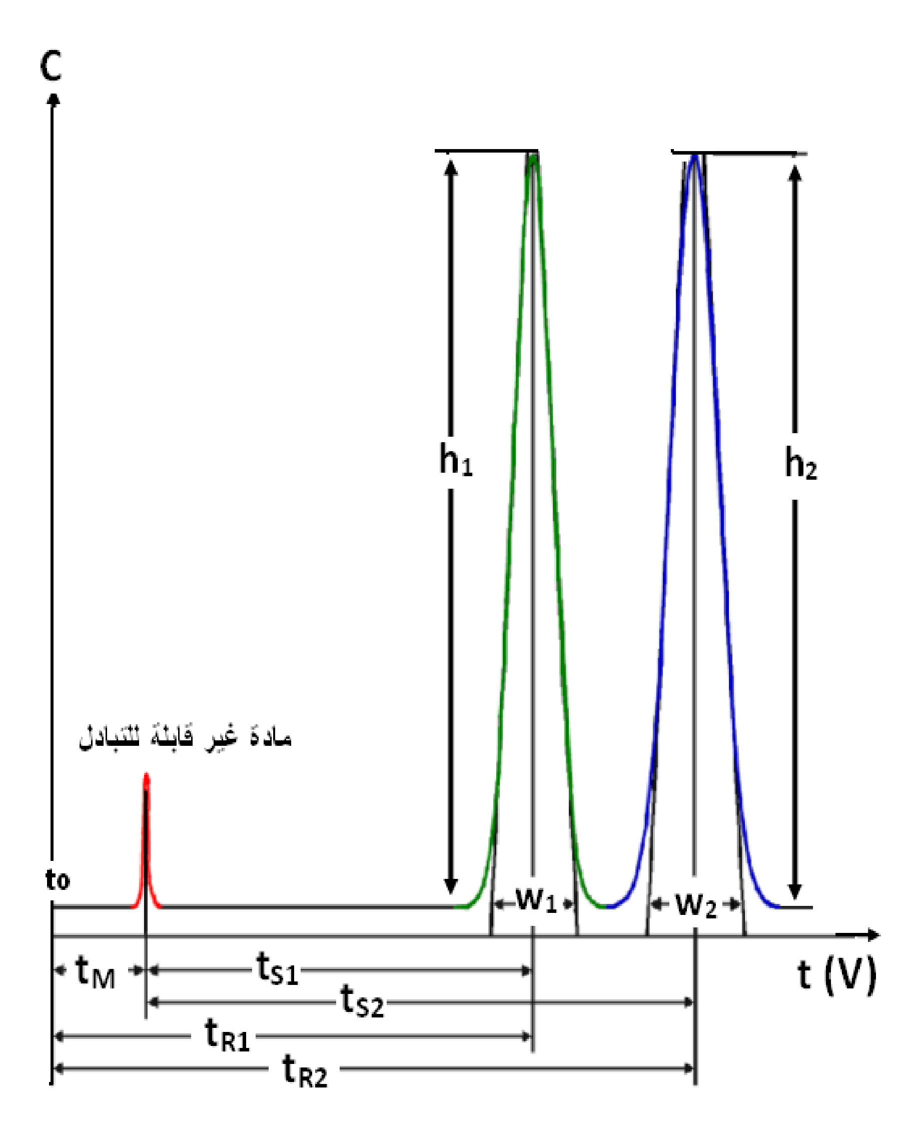
$$V_R\ (ml) = t_R\ (sec)\ d\ (ml/sec)$$

حيث d تدفق الطور المتحرك.

يستعمل عمليا" مصطلح زمن الاحتفاظ، وتتعلق قيمته بنوعية الطور الثابت، ونوعية وتدفق الطور المتحرك، وطول عمود الفصل(الشكل 7 – 25).

ويظهر من المخطط أن زمن الاحتفاظ الكلي (t_R) يساوي مجموع الزمن الضائع نتيجة عبور السائل دون حدوث عملية تبادل بين الطورين (t_M) وزمن الاحتفاظ الحقيقي للشاردة على سطح الطور الصلب (t_S):

$$t_R = t_S + t_M$$



t_M الزمن الضائع، V حجم الطور المتحرك، t_S زمن الاحتفاظ الحقيقي، t_R زمن الاحتفاظ الكلي، W عرض القمة في القاعدة، h ارتفاع القمة. t_0 لحظة حقن العينة.

الشكل 7 – 25: مخطط يظهر الكروماتوغرام عند فصل وتحليل مادتين بالكروماتوغرافيا.

ب) معامل الاستطاعة(Facteur de Capacité):

يتعلق زمن الاحتفاظ بالشروط المطبقة على جهاز الكروماتوغرافي، غير أنه يستعمل للتحليل الكيفي للشوارد أو المركبات في حالة ثبات تلك الشروط، ولذلك اعتمد معامل الاستطاعة دون

واحدات لتجنب ربطه بالشروط المطبقة على نظام الفصل الكروماتوغرافي، ويعطى هذا المعامل بالعلاقة الآتية:

$$K` = (t_R - t_M) / t_M$$

ج) الانتقائية α (Sélectivité):

تتعلق الانتقائية بترموديناميك التبادل، ويمكن تعريفها بأنها النسبة بين زمني الاحتفاظ لمادتين، وهي مساوية لنسبة معاملي الاستطاعة:

$$\alpha = (t_{R2} - t_M) / (t_{R1} - t_M) = t_{S2} / t_{S1} = K`_2 / K`_1 \qquad K`_2 > K`_1$$

ويمكن تحديد إمكانية فصل وتحليل مادتين ممزوجتين من خلال معرفة قيمة الانتقائية α، فإذا كانت قيمة α تساوي الواحد، فإن إمكانية الفصل مستحيلة، وكلما كبرت قيمتها أصبح الفصل أفضل وزمن التحليل أطول، ويفضل أن تكون قيمتها قريبة من 1.5، {93} علما" أن قيمة α لا تعطي أي معلومات عن التحليل الكمي.

د) معامل التفريق R (Facteur de Résolution):

يعد معامل التفريق مقياسا" مهما" لجودة فصل المواد، حيث يأخذ بالحسبان موقع القمة (زمن الاحتفاظ) وعرضها عند القاعدة (w)، وتعطى بدلالة حجم الطور المتحرك الخارج من العمود:

$$R = 2 (V_{R2} - V_{R1}) / W_2 - W_1)$$

أو بدلالة زمن الاحتفاظ:

$$R = 2(t_{R2} - t_{R1}) / (w_1 + w_2)$$

ويمكن فصل مادتين أو شاردتين وتحليلها إذا كانت قيمة R تساوي النصف، ولكن من أجل تحليل جيد يجب أن تكون قيمة R أكبر من 1.5، {51}.

هـ) الكفاءة (Sélectivité):

ترتبط الكفاءة بنوعية عمود الفصل، وهي مقياس لتوزيع المواد المراد فصلها ضمن عمود الفصل الكروماتوغرافي، وتظهر عمليا" من خلال قمة حادة وقليلة العرض. وتعطى بعدد الصفائح النظرية(Le nombre de Plateaux Théoriques N):

$$N = 16\ (t_s/w)^2$$

أو $$N = 5.54\ (t_s/w_b)^2$$

حيث تدل w_b على عرض القمة عند منتصف ارتفاعها.

ويمكن تعريف الكفاءة بأنها ارتفاع الصفيحة الواحدة H ضمن العمود ذي الطول L:

$$H = L / N$$

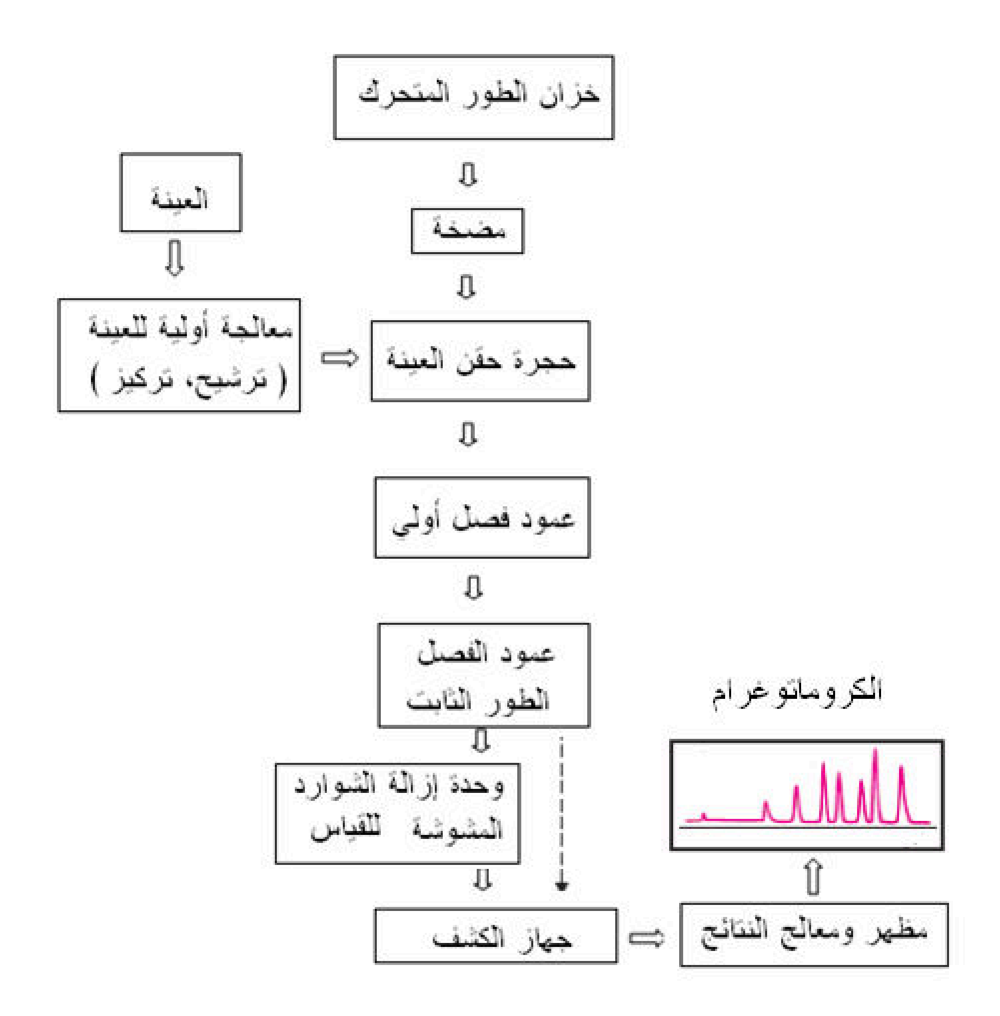
تزداد كفاءة العمود المحشي مع تناقص أبعاد حبيبات المادة المحشوة بداخله ومع تجانسها.

7. 8. 3 مراحل التحليل والتجهيزات المستعملة:

تتضمن عملية التحليل بالكروماتوغرافيا الشاردية عددا" من المراحل، و تتمتع التجهيزات المستعملة بمواصفات أساسية منها كون المواد الملامسة للطور السائل خاملة وغير قابلة للأكسدة وتتحمل الضغط المرتفع، ويربط بينها أنابيب صغيرة القطر (0.1 مم)، ويتكون من الأجزاء الموضحة في الشكل(7 – 26).

تتضمن التجهيزات مضخة تؤمن عبور الطور المتحرك لعمود الفصل بضغط مرتفع يصل إلى عشرات البارات، ويمكن تدوير طور متحرك ثابت التركيب، أو تدوير طور متحرك متعدد التراكيب وضمن مراحل متوالية بهدف تحسين عملية الفصل. ومن الضروري إزالة الغازات من محلول الطور المتحرك بالقرقرة باستعمال غازات خاملة(N_2, H_e).

يكون حجم العينة المحقونة 50 إلى 1000 ميكرو لتر عادة، ويتم حقنها في حجرة الحقن ببداية عمود الفصل، ويمكن أن تتم يدويا" أو آليا".



الشكل 7 – 26: مراحل التحليل بالكروماتوغرافيا الشاردية.

تحتاج بعض العينات إلى معالجة أولية قبل حقنها في الجهاز ولاسيما العينات المحملة بمواد معلقة وذلك باستعمال مرشح أبعاد مسامه 0.45 ميكرومترا"، أو عملية تمديد للعينات المركزة، ويمكن أن تجرى عملية تركيز للعينات الممدة والتي تحتوي نسبة أقل من الحد الأدنى لمجال التحليل. ويعطي الشكل(7 – 27) صورة لجهاز الكروماتوغرافيا الشاردية.



الشكل 7 – 27: جهاز كروماتوغرافيا الشاردية تصنيع شركة Thermo موديل ICS- 5000.

آ) الطور المتحرك:

يتكون الطور المتحرك من محلول مائي يحتوي شوارد معدنية أو عضوية، ومن الممكن أن يضاف إليه نسبة من الميتانول أو الأستون لتسهيل انحلال بعض الشوارد المراد تحليلها. وطبقا" لنوعية الزمر الفعالة للطور الثابت، فإن محلول الطور المتحرك يمكن أن يحضر من حموض معدنية أو عضوية (حمض البنزويك، حمض الفتاليك،حمض الآزوت، حمض كلور الماء،...،... .)، أو أسس (هيدروكسيد البوتاسيوم أو الصوديوم، كربونات، أو الكربونات الحمضية،...،... .).

يمكن للمحلل التدخل في تركيبة الطور المتحرك للحصول على نتائج أفضل باستعمال عمود الفصل ونظام الكشف والتجهيزات الملحقة المتوافرة. ويمكن أن يشمل هذا التدخل التغيير في

تركيز الأملاح الداخلة في تركيبة الطور المتحرك، أو تبديل التركيبة بكاملها، أو تغيير سرعة التدفق للسائل، ولكن يجب مراعاة الآتي:

- توافق التركيبة المستعملة مع نظام الكشف.
- فعالية جيدة في جرف الشوارد الموجودة على سطح الطور الثابت.
- توافق قيمة pH المحلول مع عملية التبادل الشاردي.
- استطاعة موقية مرتفعة لتجنب حدوث تغيرات حدية في قيمة pH وسط التبادل.

وقد كانت الخيارات في اختيار الطور المتحرك محدودة قبل إدخال وحدة إزالة الشوارد المشوشة على نظام الكروماتوغرافيا الشاردية السالبة، وكانت تلك الخيارات محصورة بالحموض العضوية العطرية وأملاحها (حمض البنزويك، حمض 4- هيدروكسي البنزويك،حمض السالسيليك، حمض الفتاليك) {49}، ولكن بعد إدخال وحدة إزالة الشوارد أصبح المحلول المكون من كربونات الصوديوم وكربونات الصوديوم الحمضية الأكثر استعمالا" في الكروماتوغرافيا الشاردية السالبة.
أما في حالة الكروماتوغرافيا الشاردية الموجبة المستخدمة لمعايرة الشوارد المعدنية القلوية فتستعمل محاليل الحموض القوية كطور متحرك(HCl, HNO_3)، ولكن تحليل المعادن ثنائية التكافؤ غير ممكن باستعمال الحموض القوية، ولذلك يستعمل ثنائي أمين الإتيلين، كما ويستعمل حمض كلور الماء وحمض ثنائي أمينو بروبيونيك في الطور المتحرك لتحليل مزيج من الشوارد المعدنية أحادية وثنائية التكافؤ بوجود مبادل شاردي موجب شديد الحموضة {93}.

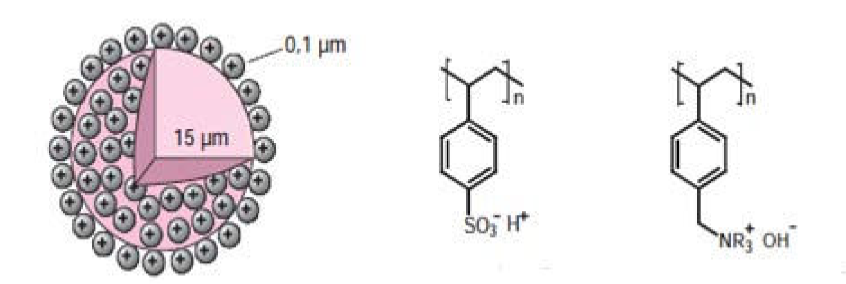
ب) عمود الفصل (الطور الثابت):

يحتاج التحليل الفعال في نظام الكروماتوغرافيا الشاردية عمود فصل مناسب للشوارد المراد تحليلها، ويتراوح طول عمود الفصل بين 100 إلى 250 مم، وقطره بين 2 إلى 4.5 مم، ويحتوي بداخله على الطور الثابت المكون من حبيبات أبعادها 2 إلى 10 ميكرومترات، ويجب أن تكون متجانسة بأفضل ما يمكن، وتؤمن حركية تبادل سريعة بين الطور السائل والطور الثابت، علما" أن هذه العوامل هي التي تحدد جودة التحليل.
يستعمل في أعمدة الكروماتوغرافيا الشاردية مواد عديدة منها مواد عضوية ومواد لا عضوية، ولكن جميعها تحمل على سطحها زمرا" فعالة قابلة للتبادل، ومن المواد المستعملة نذكر{49}:

الراتنجات، والسيليس الهلامي، وأكاسيد معدنية، والزيوليت، ومشتقات سليلوزية. ولكن الأكثر استعمالا" في أعمدة الكروماتوغرافيا الشاردية هي الراتنجات والسيليس الهلامي.

يحتوي عمود الفصل الطور الثابت المكون من مبادل شاردي أساسه بوليمير صناعي أو سيليس على هيئة حبيبات كروية تتراوح أقطارها بين 5 ميكرمترات و 15 ميكرومترا"، مطعم (greffée) سطحها بالزمر المبادلة، وتستعمل أيضا" طريقة ترسيب شريحة رقيقة من البوليميرات الحاملة للزمرة المبادلة على سطح حبيبات الراتنجات أو السيليس، وأهم الزمر المستخدمة (الشكل 7 – 28):

- شحنة سالبة لأعمدة الفصل المخصصة لتحليل الشوارد الموجبة (عمود الفصل الشاردي الموجب)، ويحتوي هذا النوع على شوارد السلفونات(SO_3^- -) للمبادل الموجب القوي، وشوارد الكربوكسيل (COO^- -) للمبادل الموجب الضعيف.
- شحنة موجبة لأعمدة الفصل المخصصة لتحليل الشوارد السالبة (عمود الفصل الشاردي السالب)، ويتضمن هذا النوع الزمر الأمينية الأحادية أو الرباعية (NR_3^+ -)، أو ثنائي ميتيل إيتانول الأمونيوم (DMEA) {93}.



الشكل 7 – 28: مخطط جسيم كروي من البولي إستر المستعمل كأساس لمبادل شاردي موجب، والزمر الوظيفية للمبادلات الشاردية الموجبة والسالبة.{81}

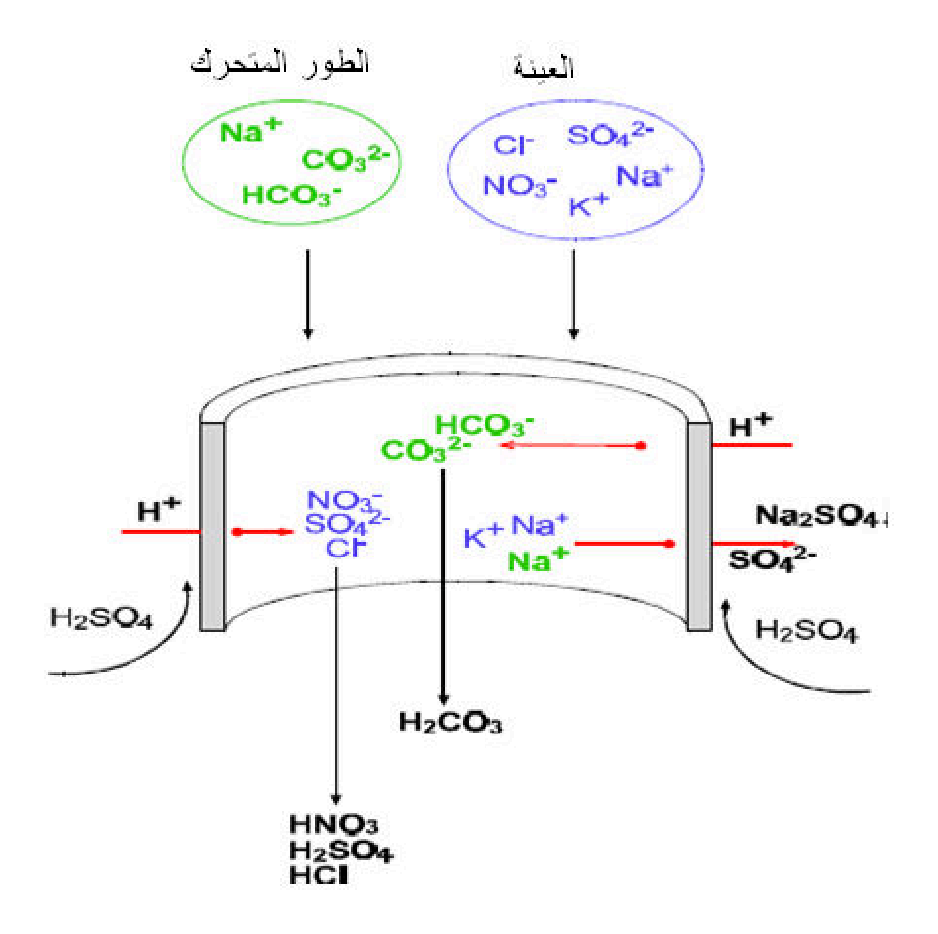
وفي معظم الحالات يضاف عمود أولي قبل عمود الفصل وقد يكون محشوا" بمادة مماثلة للحشوة المستعملة ضمن عمود الفصل، أو بمادة مختلفة عنها، ودوره الأساسي التخلص من بعض الشوائب التي تتشوش على القياس الأساسي، أو تتلف حشوة عمود الفصل.

ج) وحدة إزالة الشوارد المشوشة في الطور المتحرك (Suppression d'ions de la phase mobile):

يتكون الطور المتحرك من أملاح بتركيز شاردي مرتفع، وبالتالي تكون ناقليته عالية يمكنها أن تؤثر على دقة الكشف عن الشوارد المراد تحليلها ولذلك أدخلت على نظام الكروماتوغرافيا الشاردية وحدة إزالة الشوارد المشوشة، ويعتمد مبدأ عملها على استبدال الشوارد ذات الناقلية المرتفعة في الطور المتحرك بشوارد أخرى أقل ناقلية قبل دخول الطور المتحرك نظام الكشف.
وتطورت تقنيات وحدة إزالة الشوارد في السنوات الأخيرة ومن أهمها:

- وحدة إزالة الشوارد الكيميائية:

تعتمد آلية عمل هذا الجهاز على وجود غشاء خيطي متشابك مصنع من البولي إتيلين المطعم بزمر السيليفونيك (SO_3^--)، يعبر هذا الغشاء الطور المتحرك الخارج من عمود الفصل والمحمل بشوارد أملاح الطور المتحرك وشوارد العينة المراد تحليلها، بينما يمرر تيار من حمض الكبريت على السطح الخارجي للغشاء، وتجري عملية تبادل للشوارد عبر الغشاء تسمح بتحييد الشوارد ذات الناقلية العالية والمكونة لأملاح الطور المتحرك ومنعها من دخول نظام الكشف.
يظهر من المخطط الوارد في الشكل (7 – 29) أن الطور المتحرك الخارج من الغشاء والداخل إلى نظام الكشف يحتوي حموضا" قوية كاملة التشرد(حمض الكبريت، حمض كلور الماء، حمض الآزوت) ناتجة عن شوارد العينة المحللة السالبة، وحموضا" ضعيفة التشرد ناتجة عن شوارد الطور المتحرك، وهذه الحموض الأخيرة ذات ناقلية كهربائية مهملة.أما شوارد الكبريتات الداخلة مع حمض الكبريت فإنها تخرج مع مياه الصرف ولا تدخل نظام الكشف.



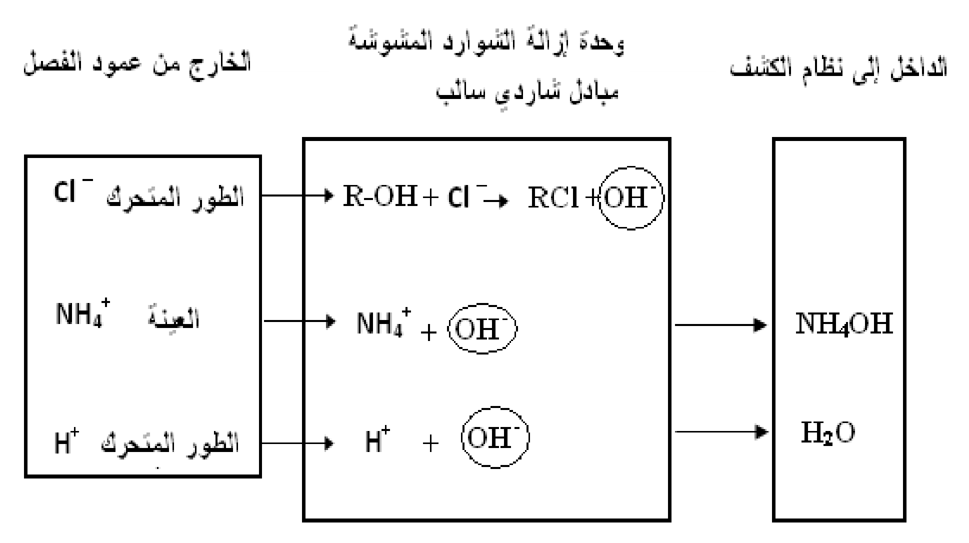
الشكل 7 – 29: مخطط وحدة إزالة الشوارد الكيميائية {60}.

– وحدة إزالة الشوارد بالمبادل الشاردي:

يعتمد مبدأ عمل هذه الوحدة على التبادل الشاردي الموضح في المخطط الوارد في الشكل (7 – 30) في حالة تحليل الشوارد الموجبة، ويحتوي مبادلا" للشوارد السالبة (R-OH).

لنفترض أن الشاردة المراد تحليلها هي شاردة الأمونيوم (NH_4^+) والخارجة من عمود الفصل، وتكون مرفقة بشاردة الهيدروجين القادمة من الطور المتحرك (HCl)، وشوارد الكلور تؤمن التعديل الكهربائي للوسط. فإذا كان تركيز الحمض في الطور المتحرك مرتفعا"، تصبح عملية الكشف عن شوارد الأمونيوم بقياس الناقلية صعبة وغير دقيقة. وهنا يكمن دور وحدة إزالة الشوارد حيث تتبادل شوارد الكلور للطور المتحرك مع شوارد الهيدروكسيل للمبادل الشاردي، وهذه الأخيرة تتفاعل مع

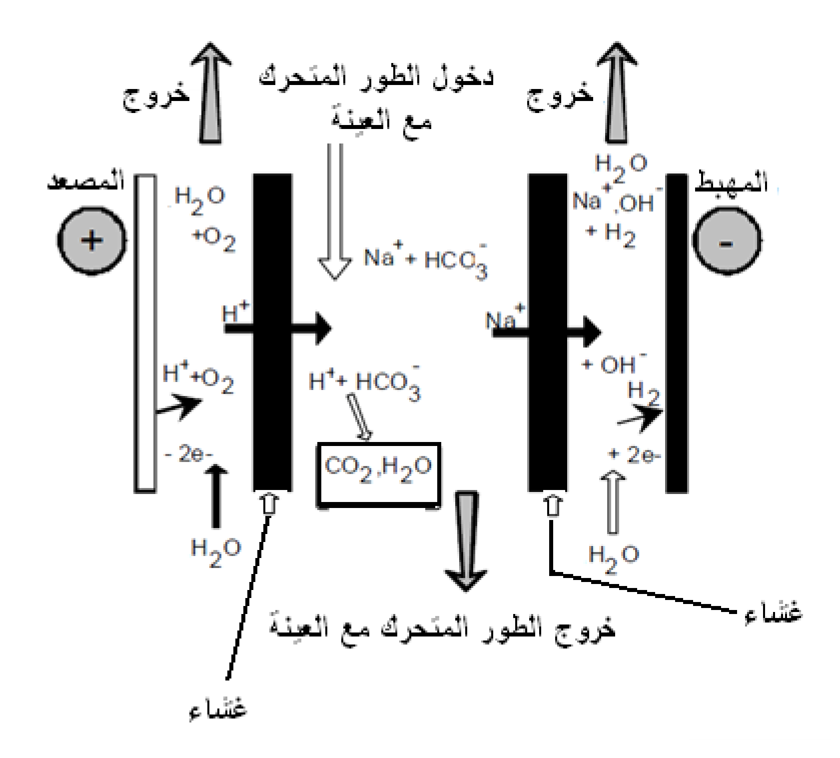
شوارد الهيدروجين لتعطي الماء ومع شوارد الأمونيوم لتعطي ماءات الأمونيوم، وبالتالي فإن شوارد الهيدروجين والكلور قد اختفت من المحلول الداخل إلى مقياس الناقلية.



الشكل 7 – 30: مخطط وحدة إزالة الشوارد بطريقة المبادل الشاردي.

- وحدة إزالة الشوارد بالميز الكهربائي (Électrodialyse):

يتحول الماء على المهبط إلى H_2 و OH^-، وتذهب شوارد الصوديوم باتجاه المهبط لتكون محلولا" قاعديا" قويا" يخرج من حجرة المهبط، ويتأكسد الماء على المصعد معطيا" الأكسجين وشوارد الهيدروجين التي تهاجر باتجاه المهبط عبر غشاء التبادل الشاردي الموجب والذي يسمح لها بالعبور لتلتقي مع شوارد الكربونات وشوارد الكربونات الحمضية مكونة حموضا" ضعيفة، أو مع شوارد الهيدروكسيل مكونة الماء وجميعها ضعيفة الناقلية، ولا يبقى في الوسط سوى الشوارد المراد تحليلها. و يوضح الشكل (7 – 31) آلية إزالة الشوارد بنظام الميز الكهربائي.



الشكل 7 – 31: آلية إزالة الشوارد باستعمال الميز الكهربائي نوع Suppresseur DINEX SRS.

د) نظم الكشف عن الشوارد:

يتلخص دور جهاز الكشف بتحديد هوية المركبات أو الشوارد المنجرفة من عمود الفصل، وتحديد تركيزها اعتمادا" على المقارنة مع محاليل عيارية محددة التركيز. ومن أهم نظم الكشف المستعملة في الكروماتوغرافيا الشاردية:

1 – مقياس الناقلية الكهربائية:

يعدّ مقياس الناقلية الكهربائية النظام الأكثر انتشارا" في الكشف عن الشوارد لتمتع جميع الشوارد بناقلية قابلة للقياس.

يتكون المقياس من خلية تحتوي قطبين سطح كل منهما S، ويفصل بينهما مسافة L، وتعطى الناقلية G بالعلاقة الآتية:

$$G = 1 / R = \gamma . S / L$$

حيث R مقاومة المحلول الكهربائية، و γ الناقلية النوعية (سيمنس/ سم).

ترتبط الناقلية بمواصفات الخلية الكهربائية المستعملة وبالتركيز الشاردي للسائل داخل الخلية:

$$G = A . C / 1000 K$$

حيث يرمز C إلى تركيز الشوارد (مكافئ غرامي / لتر) وK ثابت الخلية، وA الناقلية المكافئة.

عندما تكون المحاليل خفيفة التركيز فإن العلاقة بين الناقلية والتركيز تكون خطية في درجة حرارة ثابتة، ولذلك يجب تجهيز نظام الكشف بمنظم حراري.

2 – مقياس التيار الكهربائي (Ampérométrie):

يستعمل هذا الجهاز في الكشف عن الجزيئات سهلة الأكسدة والإرجاع، ويمكن الكشف بهذه الطريقة عن السيانيد والكبريت والهالوجينات والمركبات العطرية الحاملة لزمر أمينية أو هيدروكسلية {80}.

3 – المطياف الضوئي:

تتمتع بعض الشوارد بخاصية امتصاص الأشعة فوق البنفسجية (UV)، ومن تلك الشوارد البرومات واليودات والنتريت والنترات والكبريتيت وبعض الشوارد المعدنية، ويمكن الكشف عن بعض الشوارد في مجال الطيف المرئي(Vis). ونورد في الجدول (7 – 16) طول الموجة المناسب للشوارد المعدنية المنحلة في الماء.

الجدول 7 – 16: طول الموجة (نانومتر) للامتصاص الأعظمي للطيف الضوئي.

شاردة المعدن	طول الموجة	شاردة المعدن	طول الموجة	شاردة المعدن	طول الموجة
الكروم الثلاثي	215	النحاس الثنائي	275	الحديد الثلاثي	225
الكروم السداسي	248	الزئبق الثنائي	229	الرصاص الثنائي	271

7. 8. 4 معايرة الشوارد في العينة المائية:

تختلف جوهريا" هذه التقنية في المعايرة عن التقنيات الأخرى، حيث إنها قادرة على تحديد الهوية والمعايرة لمزيج من الشوارد في العينة في آن واحد، وبالتالي لا نحتاج إلى تحليل كل شاردة على حدة كما هو متبع بالطرق الأخرى للتحليل. ولقد أنتجت الصناعة تجهيزات مختلفة قادرة على معايرة الشوارد السالبة أو الشوارد الموجبة، ونلخص في الجدول (7 – 17) بعض طرق التحليل المتبعة في مخابر تحليل المياه.

الجدول 7 – 17: بعض طرق تحليل الشوارد الموجبة والسالبة.

طريقة المعايرة	الشوارد المحللة	مجال التحليل مغ / لتر	الطور المتحرك بوجود وحدة إزالة الشوارد المشوشة	جهاز الكشف
شوارد سالبة NF EN ISO 10304-1	Br^{-}	20 – 0.05	$Na_2CO_3/NaHCO_3$	مقياس الناقلية
	Cl^{-}	50 – 0.1		
	F^{-}	10 – 0.01		
	NO_2^{-}	20 – 0.05		
	NO_3^{-}	50 – 0.1		
	PO_4^{---}	20 – 0.1		
	SO_4^{--}	100 – 0.1		
شوارد سالبة NF EN ISO 10304-3	I^{-}	50 – 0.1	$Na_2CO_3/NaHCO_3$ أو NaOH	مقياس الناقلية، أو UV(205-236nm) أو مقياس التيار
	SCN^{-}	50 – 0.1		
	$S_2O_3^{--}$	50 – 0.1		
شوارد سالبة NF EN ISO 10304-4	ClO_3^{-}	10 – 0.03	$Na_2CO_3/NaHCO_3$	مقياس الناقلية، أو UV(207-220nm) أو مقياس التيار
	ClO_2^{-}	1 – 0.01		
	Cl^{-}	50 – 0.1		
شوارد موجبة NF EN ISO 14911	NH_4^{+}	10 – 0.1	حمض كلور الماء أو حمض ميتا السلفونيك	مقياس الناقلية
	Ba^{++}	100 – 1		
	Ca^{++}	50 – 0.5		
	Li^{+}	1 – 0.01		
	Mg^{++}	50 – 0.5		
	Mn^{++}	50 – 0.5		
	K^{+}	10 – 0.1		
	Na^{+}	10 – 0.1		
	Sr^{++}	50 – 0.5		

7 .9 معايرة الشوارد السالبة في الماء:

7. 9. 1 معايرة شاردة الكلوريد (Cl^-):

هناك طرائق عديدة لمعايرة شوارد الكلوريد، أهمها انتشارا":

آ) طريقة مور (MOHR):

تعاير شوارد الكلوريد في وسط معتدل بمحلول عياري من نترات الفضة بوجود كرومات البوتاسيوم، وتحدد نهاية التفاعل بظهور اللون الأحمر المميز لكرومات الفضة.

1 – الكواشف:

- حمض الآزوت المركز، كربونات الكالسيوم، محلول كرومات البوتاسيوم (10%).
- محلول نترات الفضة (0.1 نظامي) ويحضر بحل (17.3 غراما") من نترات الفضة في لتر ماء مقطر.

2 – طريقة العمل:

يجري تعديل العينة المائية باستعمال حمض الآزوت إذا كانت قاعدية وبيكربونات الكالسيوم إذا كانت حمضية حتى الوصول إلى ماء معتدل (pH = 7)، ويستعمل مشعر الفينول فتالين. يضاف (1 مليلتر) من محلول كرومات البوتاسيوم إلى 100 مليلتر من العينة المائية بعد تعديلها، تعاير العينة بمحلول نترات الفضة إلى أن يظهر اللون الأحمر، لنفرض أن حجم محلول نترات الفضة المستعملة للمعايرة هو (V مليلترا")، فيكون تركيز شوارد الكلوريد مساويا" إلى:

$$C \ (mg/l) = \frac{V \times t \times (35.5) \times V'}{1000}$$

حيث إن: (\`V) حجم العينة المائية و (t) نظامية محلول نترات الفضة.

ب) معايرة شوارد الكلوريد في وسط حمضي:

تعاير شوارد الكلوريد في وسط حمضي بوساطة نترات الزئبق بوجود مشعر من ثنائي فينيل الكربازون (Diphenylcarbazone).

1 – الكواشف :

- حمض الآزوت (0.5 نظامي)، – محلول بروموفينول.

- محلول نترات الزئبق (0.1 نظامي): يحضر بإذابة (16.23 غراما") من نترات الزئبق في 50 مليلترا" ماء مقطرا"، ويضاف إليه (1 مليلتر) من حمض الآزوت المركز، وبعد الانحلال الكامل لنترات الزئبق يكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، ويحفظ المحلول الناتج للاستعمال خلال فترة طويلة.
- محلول كلوريد الصوديوم (0.02 نظامي).
- محلول ثنائي فينيل الكربازون ($C_{13}H_{12}N_4O$): يحضر بإذابة (0.5 غرام) من ثنائي فينيل الكربازون و (0.5 غرام) من كربونات النحاس القاعدية في 500 مليلتر كحول.

2- طريقة العمل:

تُضاف عشر قطرات من محلول البروموفينول إلى 50 مليلترا" من الماء المراد معايرته، ويضاف حمض الآزوت إلى أن يظهر اللون الأصفر (تكون pH بين 3 و4)، وتجرى الخطوات السابقة نفسها على مزيج مكون من 49 مليلترا" ماء" مقطرا" مضافا" إليه (1 مليلتر) من محلول كلوريد الصوديوم، وليكن (V) حجم حمض الآزوت اللازم لتحميض ماء العينة، و(\`V) اللازم لتحميض الماء المقطر.

تجهز قارورتان مخروطيتان سعة الواحدة 250 مليلترا"، وتحضر فيهما الكميات الواردة في الجدول (7 – 18).

الجدول 7 – 18: تحضير العينات للمعايرة.

الكواشف المضافة	الواحدات	قارورة 1	قارورة 2
محلول كلوريد الصوديوم	مليلتر	1	صفر
ماء العينة	مليلتر	صفر	50
الماء المقطر	مليلتر	49	صفر
حمض الآزوت	مليلتر	1 + \`V	1 + V
محلول ثنائي فينيل الكربازون	قطرة	10	10

يعاير المحلولان السابقان بوساطة نترات الزئبق (0.02 نظامي) إلى أن يتغير اللون ويصبح بنفسجيا"، فإذا لزم (N مليلترا") من محلول نترات الزئبق لمعايرة العينة 1، و (M مليلترا") لمعايرة العينة 2 فيكون تركيز شوارد الكلوريد مساويا":

$$Cl^{-}\,(mg/l) = \frac{0.71 \times M \times 1000}{N \times 50}$$

ج) معايرة الكلوريد باستعمال المسرى النوعي:

يعاير الكلوريد باستعمال مسرى نوعي لشوارد الكلور، ويمكن معايرة تراكيز خفيفة تصل إلى 1.8 مغ / لتر بهذه الطريقة، وهناك أنواعٌ مختلفة من المساري النوعيةالمصنعة لهذه الغاية.

د) معايرة الكلوريد باستعمال الكروماتوغرافيا الشاردية:

تعاير هذه الطريقة مزيجا" من شوارد الفلور والكلور والنترات والنتريت والكبريتات {36}.

1- مجال التركيز: تطبق هذه الطريقة ضمن مجال التركيز الوارد في الجدول(7 – 19).

الجدول 7 – 19: مجال التركيز.

الشاردة	الحد الأدنى للتحليل (مغ / لتر)	الحد الأعلى للتركيز (مغ / لتر)
Br^-	0,1	20
Cl^-	0,05	20
NO_3^-	0,05	10
NO_2^-	0,05	20
SO_4^{--}	0,05	40

وإذا كان تركيز الشاردة في العينة المقيسة أعلى من التركيز الحدي، يمكن تمديد العينة، أما في حالة التركيز الأقل، يمكن إجراء تركيز للعينة بالتبخير.

2- العينة: تحفظ العينة في وعاء من البلاستيك أو الزجاج، ولا يضاف إليها أي مضافات، ويسمح بحفظ العينة المراد معايرة النترات والنتريت فيها لمدة أقل من 48 ساعة في الدرجة 4°م، بينما يمكن أن تمتد فترة الحفظ للشوارد الأخرى إلى 28 يوما" في الدرجة 4°م.

3- التجهيزات المستعملة:

- جهاز كروماتوغرافيا الشاردي.
- نظام الحقن 50 ميكرولترا".
- عمود أولي يحتوي مبادلا" شارديا" نوعيا" (HPIC AG 12A).
- وعمود فصل يحتوي مبادلا" شارديا" ومناسبا" لتحليل مجال واسع من الشوارد اللاعضوية السالبة (HPIC AS12A)، أو أي عمود فصل مناسب.
- وحدة إزالة الشوارد المشوشة (Dionex ASRS).

- مقياس الناقلية.
- حمام بالموجات فوق الصوتية (Bain á Ultraasons).

4– الكواشف الكيميائية والمحاليل العيارية:

يجب أن تكون جميع الكواشف الكيميائية مخبرية والماء مقطرا" أو منزوع الشوارد.

- محلول حمض كلور الماء 1 نظامي.
- محلول الأم من كربونات الصوديوم (0.5 مول/لتر)، وكربونات الصوديوم الحمضية (0.0556 مول/ لتر).
- محلول الطور المتحرك والمحضر من المحلول الأم بتمديد 10.8 مليلترا" إلى 2 لترا"، ويكون تركيز الكربونات 0.0027 مولا"/ لتر، وتركيز الكربونات الحمضية 0.0003 مولا"/ لتر في المحلول المحضر. يتدفق الطور المتحرك بسرعة قدرها 1.5 مليلترا" في الدقيقة.
- المحاليل العيارية: تحضر المحاليل العيارية الواردة في الجدول(7 – 20) من أملاح تلك الشوارد.

جدول 7 – 20: المحاليل العيارية.

الشاردة	F^- مغ / لتر	Cl^- مغ / لتر	NO_2^- N– مغ / لتر	Br^- مغ / لتر	NO_3^- N– مغ / لتر	SO_4^{--} مغ / لتر
1	10	20	20	20	10	40
2	5	10	10	10	5	20
3	2	4	4	4	2	8
4	1	2	2	2	1	4
5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4

ترشح المحاليل العيارية قبل حقنها بالجهاز على مرشح ذي مسامات أبعادها 0.08 ميكرومترا".

5 – إجراء التحليل:

- يضبط الجهاز ويحدد الصفر القاعدي للمخطط.

- تمرر المحاليل العيارية، ويرسم المنحني البياني العياري لتركيز الشاردة بدلالة الناقلية الكهربائية، ولكن معظم الأجهزة الحديثة مزودة ببرامج تخزن المنحنيات البيانية العيارية.
- تمرر العينات المراد قياس تركيز الشوارد فيها، وتقارن النتيجة بالمنحني البياني العياري لتحديد تركيزها.

7. 9. 2 معايرة شوارد النترات:

آ) طريقة الزيلينول ($C_8 H_{10} O$):

تشكل النترات مع المركبات الفينولية وحمض الكبريت مشتقات نتريتية للفينول قابلة للاستخلاص بمحل عضوي هو التولوين، وتعطي تلك المركبات المتكونة لونا" أصفر في الوسط القلوي يمكن قياس كثافته باستعمال الطريقة الطيفية.

1 – الكواشف :

- محلول كبريتات الزئبق:(2 مليغراما") من كبريتات الزئبق و(20 مليلترا") من حمض الكبريت المركز توضع في 400 مليلتر من الماء المقطر.
- كاشف حمض الكبريت: يحضر بإذابة (42 مليلترا") من المحلول السابق في (158 مليلترا") من حمض الكبريت المركز، ويجري تجديده يوميا".
- كاشف الزيلينول: يذاب (1غرام) من الزيلينول في (100 مليلترا") من حمض الخل.
- محلول هيدروكسيد الصوديوم (2 نظامي).
- تولوين.
- محلول حمض السولفاميك (0.07% وزنا").
- محلول نترات البوتاسيوم تركيزه يعادل (5 مليغرامات من الآزوت في اللتر).

2 – المنحني البياني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 21) للحصول على المنحني البياني العياري.

الجدول 7 – 21: تحضير محاليل مختلفة التركيز من النترات.

رقم القارورة	0	1	2	3	4
محلول نترات البوتاسيوم (مل)	0	0.5	1	2	3
ماء مقطر (مل)	5	4.5	4	3	2
كاشف حمض الكبريت (مل)	15	15	15	15	15
تركيز الآزوت النتراتي (مغ /لتر)	0	0.5	1	2	3

تبرد المحاليل الواردة بالجدول (7 – 21) بوضعها في ماء بارد، ثم يضاف إلى كل منها (1 مليلتر) من كاشف الزيلينول، وتوضع في حمام مائي درجة حرارته 35^{o} م مدة نصف ساعة، وتسكب محتويات القارورات في سلسلة من أقماع الفصل وتغسل بالماء المقطر حيث يضاف ماء الغسل إلى أقماع الفصل, يضاف (10 مليلترات) من التولوين لكل من أقماع الفصل، ويمزج جيدا" مع المحلول المائي، وتفصل الطبقة العضوية وتغسل بالماء المقطر عدة مرات، وتمزج الطبقة العضوية مع (20 مليلترا") من محلول هيدروكسيد الصوديوم (2 نظامي)، ويرج المزيج جيدا" قبل أن يترك ليرقد مدة 20 دقيقة، تستخلص الطبقة المائية وتقاس الامتصاصية عند طول الموجة (432 نانومترا") باستعمال الجهاز الطيفي، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز.

3 – قياس تركيز النترات في عينات الماء:

يُؤخذ (5 مليلترات) من العينة المائية، وتعامل معاملة العينات العيارية. وبمقارنة النتيجة مع المنحني البياني العياري نحصل على تركيز العينة المجهولة.

يضاف للعينة (1 مليلتر) من حمض السولفاميك في حالة وجود شوارد النتريت، بينما يلغى تأثير شوارد الكلوريد في المعايرة نتيجة إضافة كاشف حمض الكبريت الحاوي على كبريتات الزئبق.

ب) طريقة ساليسيلات الصوديوم ($HO - C_6H_4 - CO_2Na$):

تعطي النترات بتفاعلها مع ساليسيلات الصوديوم بارانيتروساليسيلات الصوديوم الملونة باللون الأصفر والقابلة للقياس بالطريقة الطيفية.

1 – الكواشف :

- محلول ساليسيلات (10 غ / لتر) ويحضر يوميا".
- حمض الكبريت المركز.
- حمض الخل، هيدروكسيد الأمونيوم المركز، كبريتات الفضة النقية.
- أزيد الصوديوم (NaN_3) بتركيز قدره (5 غ / لتر).

- محلول نترات البوتاسيوم (25 مغ / لتر).

2 – المنحني البياني العياري:

تصب الأحجام الآتية من محلول نترات البوتاسيوم ذي التركيز (25 مغ / لتر) في جفنات من البورسيلين: (0، 1، 2، 3، 4، 5 مليلترا")، ويضاف إلى كل منها (0.2 مليلترا") من محلول حمض الخل، يبخر المزيج حتى الجفاف الكامل في حمام مائي، يضاف إلى راسب كل جفنة واحد مليلتر من محلول ساليسيلات الصوديوم، وتجفف ثانية، وتبرد الجفنات ويضاف إلى كل منها واحد مليلتر من حمض الكبريت، وبعد عشرة دقائق يضاف 10 مليلترات من الماء المقطر و 10 مليلترات من هيدروكسيد الأمونيوم، وينقل محتوى الجفنات إلى زجاجات عيارية سعتها 25 مليلترا"، ويكمل الحجم بالماء المقطر، تكون عند ذلك تراكيز العينات من شاردة النترات على الترتيب كالآتي:(0، 1، 2، 3، 4، 5 مغ / لتر).

تقاس الامتصاصية لتلك المحاليل عند طول الموجة 415 نانو مترا" ويرسم المنحني البياني العياري.

3– معايرة العينات مجهولة التركيز:

يجري تحديد حجم العينة المجهولة بالاعتماد على تقديرات أولية لتركيزها، فإذا كان تركيزها أقل من (1 مغ / لتر) يكون حجم العينة 25 مليلترا"، أما إذا كان التركيز محصورا" بين (1 و 5 مغ / لتر) فإن حجم العينة يكون 5 مليلترات، وتعالج العينات كما عولجت المحاليل العيارية، وتقارن نتيجة الامتصاصية مع المنحني العياري لتحديد التركيز.

ترسب شوارد الكلوريد، قبل إجراء التحليل، إذا كان تركيزها يتجاوز (100 مغ / لتر) باستعمال كبريتات الفضة.

ج) معايرة النترات باستعمال المسرى النوعي:

تعاير شوارد النترات بطريقة المساري النوعية، حيث هناك أنواع مختلفة خاصة بشاردة النترات، والتي تقيس تراكيز منخفضة (0.1 مغ / لتر).

د) معايرة النترات باستعمال الكروماتوغرافيا الشاردية:

وردت الطريقة في فقرة تحليل الكلوريد.

7. 9. 3 معايرة شوارد الفوسفات (PO_4^{-3}):

يكون الفُسفورفي المياه الطبيعية ومياه الصرف ضمن المركبات المعدنية أو العضوية المنحلة والمعلقة، ونعرض فيما يأتي أهم الطرائق التحليلية اللونية لقياس شوارد الفوسفات.

آ) طريقة موليبدات الأمونيوم وحمض الأسكوربيك:

تشكل شوارد الفوسفات معقدا مع موليبدات الأمونيوم في الوسط الحمضي، ويجري إرجاعه بحمض الأسكوربيك معطيا" مركبا" ذا لون ثابت تقاس امتصاصيته بوساطة الجهاز الطيفي.

تضاف طرطرات الأنتموان والبوتاسيوم للإسراع في عملية حلمهة الفوسفات ضمن بنية الجزيئات العضوية، وبذلك ينحل في الماء ويدخل في عملية المعايرة.

1 – الكواشف :

يحضر كاشف وحيد بمزج المركبات الآتية: 400 مليلتر من حمض كبريت (5 نظامي) + 120 مليلترا" من محلول موليبدات الأمونيوم (4% وزنا") + 240 مليلترا" من محلول طرطرات الأنتيموان والبوتاسيوم (0.274 غ / لتر)، يعرف هذا المزيج بكاشف الفوسفات.

2 – طريقة العمل :

يصب 20 مليلترا" من الماء المراد معالجته في زجاجة عيارية سعتها 25 مليلترا"، ويضاف إليه 4 مليلترات من كاشف الفوسفات ويكمل حجم الزجاجة العيارية بالماء المقطر، تقاس الامتصاصية بعد 20 دقيقة عند طول الموجة 690 نانومترا".

تقارن النتيجة مع منحنٍ بياني عياري يستحصل عليه من إجراء الخطوات نفسها على محاليل معروفة التركيز ومحصورة بين (0 و 0.5 مغ / لتر) من فُسفور الفوسفات.

ب) طريقة ميتا فاندات الأمونيوم:

تعتمد الطريقة على تكوين معقد ملون من الفوسفات مع موليبدات الأمونيوم وميتا فاندات الأمونيوم في وسط حمضي.

1 – الكواشف:

- حمض الآزوت (6 نظامي).
- محلول ميتا فاندات الأمونيوم (NH_4VO_3) بتركيز قدره (2.5 غ / لتر)، ويضاف إلى المحلول كمية قليلة من حمض الآزوت.
- محلول موليبدات الأمونيوم [$(NH_4)_6Mo_7O_{24}$, $4H_2O$] ذو التركيز (50 غ / لتر).

2 – طريقة العمل:

يضاف 5 مليلترات من كل من الكواشف المحضرة أعلاه إلى 50 مليلترا" من العينة المائية، وبعد المزج الجيد تقاس الامتصاصية عند طول الموجة 460 نانومترا"، تتم عملية إنجاز المنحني البياني باتباع المراحل السابقة باستعمال محاليل محضرة من ملح فوسفاتي.

ج) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

تعاير هذه الطريقة شوارد الفوسفات والفلور والكلور والنترات والنتريت والبروم والكبريتات في الماء{1}:

1 – تحضير العينات العيارية:

يحضر عينتين عيارتين لكل شاردة، أحدهما في الحد الأدنى للتركيز، والثانية في الحد الأعلى، ويعطي الجدول (7– 22) تركيز المحاليل العيارية المقترحة لمياه الشرب.

الجدول 7 – 22: تركيز المحاليل العيارية.

الشاردة	محلول عياري بتركيز الحد الأدنى (مغ / لتر)	محلول عياري بتركيز الحد الأعلى (مغ / لتر)
F^-	0.5	2.5
Cl^-	10	50
NO_2^-	0.5	1
Br^-	1	2
NO_3^-	2	10
PO_4^{---}	3	15
SO_4^{--}	10	50

2 – التجهيزات المستعملة:

- جهاز كروماتوغرافيا الشاردي.
- وحدة ازالة الشوارد المشوشة من النوع الكيميائي باستعمال حمض الكبريت.
- عمود الفصل نوع Metrosep A Supp 5 بطول 150 مليمتر وقطر 4 مليمتر. محشو بحبيبات بوليميرية مثبت على سطحها زمر أمونيوم رباعية، وأبعاد الحبيبات 5 ميكرومتر. أو أي عمود فصل قادر على فصل هذا المزيج الشاردي.
- الحاقن 20 مكرومتر.

- الطور المتحرك مكون من كربونات الصوديوم(3.2×10^{-3} مول / لتر) وكربونات الصوديوم الحمضية (10^{-3} مول / لتر). ويتدفق الطور المتحرك بسرعة 0.7 مليلتر في الدقيقة.
- جهاز الكشف: مقياس الناقلية الكهربائية.

3 – طريقة التحليل:

يشغل الجهاز ويضبط الصفر القاعدي ثم تمرر المحاليل العيارية ويحدد زمن الاحتفاظ وسطح القمة لكل شاردة، وتدخل تلك المعلومات في حاسب الجهاز لتحديد المنحنيات العيارية لكل شاردة. تمرر بعد ذلك العينات المراد تحليلها، ويمكن قراءة نتائج التحليل على الجهاز مباشرة.

7. 9. 4 معايرة شوارد الكبريتات:

تعاير شوارد الكبريتات في الماء باستعمال طرائق عديدة هي:

آ) الطريقة الوزنية:

تعدّ هذه الطريقة مرجعا" أساسيا" في معايرة الكبريتات علما" أنها طويلة وصعبة الاستعمال، وتعتمد على ترسيب الكبريتات في صيغة كبريتات الباريوم ثم وزن الراسب الناتج .

ب) طريقة قياس شفافية الوسط المعلق:

تعتمد هذه الطريقة على ترسيب الكبريتات في صيغة كبريتات الباريوم في وسط من حمض كلور الماء ومن ثم تثبيت الراسب على هيئة معلق باستعمال مادة مثبتة مثل الغليسيرين أو عديدي فينيل البيروليدون، وقياس امتصاصية المعلق باستعمال الجهاز الطيفي، وتعطي المياه العكرة نتائج غير دقيقة.

ج) طريقة المعايرة الحجمية :

تعاير الكبريتات بوساطة كلور الباريوم وبوجود مشعر أليزارين سلفونات الصوديوم (Alizarine Sulfonate de Na)، أو باستعمال جهاز الناقلية الكهربائية لتحديد نقطة التحول.

د) معايرة شوارد الكبريتات باستعمال الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرة معايرة الكلوريد وفقرة معايرة الفوسفات.

الطريقة الوزنية:

1 – الكواشف:

- حمض كلور الماء المركز، حمض الآزوت المركز، حمض فلور الماء.
- محلول كلور الباريوم (100 غرام من $BaCl_2,2H_2O$ في اللتر).
- محلول نترات الفضة (10 غ / لتر).

2 – طريقة العمل:

يضاف 2 مليلترا" من حمض كلور الماء إلى 250 مليلترا" من الماء المراد معايرته، يسخن المزيج حتى الغليان، ويضاف إلى العينة عند الغليان محلول كلور الباريوم اللازم لترسيب كامل الكبريتات، ويترك المزيج في الدرجة العادية من الحرارة مدة 12 ساعة، وبعدها يرشح المحلول على ورق ترشيح عديم الرماد عند حرقه، ويغسل الراسب جيدا" بالماء المقطر المغلي للتخلص من كلور الباريوم الزائد، ويمكن التأكد من ذلك بفحص الرشاحة بنترات الفضة، وتجفف ورقة الترشيح والراسب في الدرجة 100 م°، وينقل الراسب إلى جفنة خاصة ويغسل بالماء المغلي، أما ورقة الترشيح وما بقي عليها من الراسب فإنها تحرق في جفنة ثانية ويضاف إليها بعد انتهاء عملية الحرق عدة قطرات من حمض الآزوت لتحويل الكبريت المتكون خلال عملية الحرق إلى كبريتات، وتوضع الجفنة من جديد في فرن درجة حرارته 600^o م، ويجمع محتوى الجفنتين معا" ويعاملان بحمض فلور الماء المركز، وتجري عملية تكليس جديدة في الدرجة 600^o م للتخلص من السيليس الذي في العينة المائية. يوزن الراسب المتبقي بعد التبريد، ويحسب تركيز الكبريتات في الماء استنادا" إلى العلاقة الآتية:

$$C = M \times 0.41155 \times 1000 / V$$

حيث إن :

C : تركيز الكبريتات مقدرة بالمليغرام في اللتر.

M: وزن الراسب النهائي مقدرا بالمليغرام.

V: حجم العينة المائية مقدرة بالمليلتر.

7. 9. 5 معايرة شوارد البروميد (Br^-):

آ) الطريقة اللونية:

يحرر البروميد من المركبات البرومية بمعالجتها مع الكلورأمين، ويتفاعل البروم المتحرر مع فينول–سيلفون– فتاليين (Phenolsulfonephtaleine) في وسط حمضي (pH = 4. 6) مكونا" مركب رباعي بروم فينول– سيلفون فتاليين ذا اللون الأرجواني القابل للقياس الطيفي.

1 – الكواشف :

- محلول هيدروكسيد الصوديوم (50%).
- لبن الكلس: يحضر بإذابة 112 غراما" من الكلس الحي (CaO) في لتر من الماء المقطر.
- محلول موقٍ: يحضر بإذابة 68 غراما" من خلات الصوديوم ($CH_3CO_2Na, 3H_2O$) و 30 مليلترا" من حمض الخل في لتر من الماء المقطر، ويجب أن تنحصر قيمة (pH) الوسط بين (4.6 إلى 4.7).
- محلول فينول سيلفون– فتاليين: يذاب 24 غراما" من الكاشف في 100 مليلتر ماء قلوي محضر بإضافة 2.4 مليلترا" من هيدروكسيد الصوديوم (0.1 نظامي) إلى 100 مليلتر ماء مقطر.
- محلول كلور آمين(Chloramine T) بتركيز قدره (2% وزنا")، ويستعمل المحلول مدة 15 يوما" فقط.
- محلول تيوسولفات الصوديوم ($Na_2S_2O_3$, $5H_2O$) بتركيز قدره (25 غ / لتر).
- محلول بروميد البوتاسيوم (2 مغ / لتر من البروميد).

2 – المنحني البياني العياري:

يوضع 50 مليلترا" من محلول بروميد البوتاسيوم في جفنة من السيليس، يضاف إليه 0.5 مليلتر من هيدروكسيد الصوديوم و1 مليلتر من لبن الكلس ليعطي ($pH > 10$)، ويبخر المحلول تماما" على حمام مائي ويضاف إلى الجسم الصلب الباقي 5 مليلترات ماء ساخن وبعض القطرات من حمض الكبريت إلى أن يتحول الوسط إلى حمضي (pH = 4 - 5)، يكمل الحجم إلى 10 مليلترات بالماء المقطر مع طحن كبريتات الكالسيوم المتكونة، وتجري له عملية تثفيل مدة 10 دقائق، ويفصل السائل الصافي لاستعماله في المرحلة اللاحقة، يستعمل المحلول السابق لتحضير مجموعة من المحاليل المختلفة التركيز الواردة في الجدول (7 – 23).

الجدول 7 – 23: تحضير العينات اللازمة في إنجاز المنحني البياني العياري.

رقم الأنبوب	0	1	2	3	4	5
السائل الصافي (مل)	0	0.5	1	1.5	2	2.5
ماء مقطر (مل)	5	4.5	4	3.5	3	2.5
محلول موقي (مل)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
محلول فينول سيلفون– فتالبين (مل)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
محلول كلور آمين(مل)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
محلول تيوسولفات الصوديوم وتضاف بعد دقيقة (مل)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ميكروغرام بروم في العينة	0	5	10	15	20	25

تقاس الامتصاصية للعينات عند طول الموجة 584 نانومترا"، ويرسم المنحني البياني العياري. تعامل عينة الماء المراد قياس تركيز البروم بها معاملة العينات العيارية الواردة أعلاه ومن خلال مقارنة امتصاصيتها مع المنحني العياري يجري تحديد تركيزها.

ب) طريقة المسرى النوعي:

يقاس تركيز شاردة البروم في الماء باستعمال مسرى نوعي، ويمكن قياس تراكيز تتراوح بين 0.4 مغ / لتر إلى 80 غراما"/ لتر.

ج) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرة تحليل الكلوريد و الفوسفات.

7. 9. 6 معايرة السيليس:

يكون السيليس في الماء على شكله الشاردي أو الغروي، وتجري معايرته بالطريقة الوزنية أو اللونية تبعا" لتركيزه في الماء، وتعاير الطريقة الترسيبية كلا" من السيليس الشاردي والسيليس الغروي، ومجال تطبيقها محدد بالمياه الغنية بالسيليس (عشرات المليغرامات في اللتر)، بينما تعاير الطريقة اللونية المياه الفقيرة به (5 إلى 500 ميكروغرام في اللتر)، ويتحتم تحويل السيليس الغروي إلى شاردي قبل تطبيقها.

آ) الطريقة الوزنية :

يضاف حمض كلور الماء إلى العينة المائية حيث يقوم بنزع جزئي للماء الداخل في بنية المركبات السيليسية، وتتبع تلك المرحلة بإجراء عملية تكليس للعينة لإتمام عملية نزع كامل جزيئات الماء الداخلة في بنية المركبات السيليسية، ويضاف بعد ذلك إلى العينة حمض فلور الماء القادر على التفاعل مع السيليس وتحويله إلى حمض طيار [$H_2(SiF_6)$] يجري التخلص منه بإجراء عملية تكليس أخرى، ويمثل الفرق في الوزن بين عمليتي التكليس السابقتين كمية السيليس في العينة.

1 – الكواشف :

حمض كلور الماء المركز وحمض كلور الماء (5%) وحمض فلور الماء و حمض الكبريت.

2 – طريقة العمل :

يضاف 10 مليلترات من حمض كلور الماء المركز إلى لتر من العينة المائية، ويبخر المزيج على حمام مائي وضمن وعاء من البورسلان الخالي من السيليس، ويحفظ الراسب المتبقي في درجة حرارة تتراوح بين 105^o إلى 110^o م مدة ساعة على الأقل، ويضاف إلى الراسب 5 مليلترات من حمض كلور الماء المركز و 50 مليلترا" من الماء المقطر ويسخن المزيج مدة دقيقة واحدة، ويرشح الناتج ويغسل بحمض كلور الماء (5%) ثم بالماء الساخن ويحفظ الناتج في الدرجة 110^o م، أما الرشاحة الناتجة فإنها تبخر حتى الجفاف ويغسل الراسب الناتج بالطريقة الواردة أعلاه، ثم يجمع مع الراسب الأول في جفنة من البلاتين وتوضع في فرن درجة حرارته 1200^o م، وبعد الانتهاء من عملية التكليس الأولى توزن الجفنة مع الراسب ولنفترض أن وزنها يساوي (P_1).

يضاف إلى الراسب السابق 10 مليلترات من حمض فلور الماء وقطرتان من حمض الكبريت، وتجرى عملية تكليس ثانية في الدرجة 1200^o م، وليكن وزن الجفنة والراسب بعد التكليس هو (P_2)، ويعطى تركيز السيليس بالعلاقة:

$$C = (P_1 - P_2) / V$$

حيث تمثل (C) تركيز السيليس مقدرا بالغرام في اللتر إذا قدر الوزن بالغرام، و (V) حجم العينة باللتر.

ب) الطريقة اللونية:

تعتمد الطريقة على تحويل السيليس إلى حمض سيليكو موليبديك (Acide Silico – Molybdique) نتيجة تفاعله مع موليبدات الأمونيوم في وسط شديد الحموضة (pH= 1. 2)،

ويعطي هذا الحمض لونا" أصفر يتحول إلى الأزرق عند إرجاعه إلى سيليكو موليبديك اللامائي (Anhydrique Silico – Molybdique).

1– الكواشف :

- محلول موليبدات الأمونيوم (10%): يحضر بحل 10 غرامات من [ ] $[NH_4)_6 Mo_7O_{24} , 4 H_2O$ في 80 مليلتر ماءً مقطرا"، ويعدل الوسط إلى (pH = 7 – 8) باستعمال هيدروكسيد الأمونيوم، وبعدها يكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.
- حمض كلور الماء (25%)، حمض الكبريت (1 نظامي).
- كربونات الصوديوم الحمضية.
- حمض الحماض (COOH – COOH) بتركيز (10%).
- محلول ثنائي كبريتيت الصوديوم ($Na_2S_2O_5$) ذو التركيز (150 غ / لتر).
- محلول حمض أمينونافتول السلفونيك $[NH_2C_{10}H_5(OH) SO_3H]$، يحضر بإذابة 0.5 غرام من الحمض مع 1 غرام من كبريتيت الصوديوم (Na_2SO_3) في 50 مليلتر ماء، ويضاف إليه 200 مليلتر من محلول ثنائي كبريتيت الصوديوم، ويحضر هذا الكاشف أسبوعيا" لأنه غير ثابت.
- محلول السيليس (SiO_2) بتركيز قدره (0.1غ /لتر): يحضر هذا المحلول بمزج 50 ميلي غراما" من السيليس مع 2 غراما" من كربونات الكاسيوم الحمضية في جفنة من البلاتين، يسخن المزيج حتى السيلان، وبعد تبريد الجفنة يذاب محتواها في 500 مليلتر ماء مقطر.
- محلول السيليس (5 مغ / لتر): يحضر بتمديد المحلول السابق.

2 – المنحني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 24) ضمن زجاجات عيارية سعتها 125 مليلترا".

الجدول 7 – 24: تحضير المحاليل العيارية للسيليس.

رقم الزجاجة	0	1	2	3	4	5	6	7
محلول سيليس (مل)	0	5	10	20	40	60	80	100
ماء مقطر (مل)	100	95	90	80	60	40	20	0
محلول موليبدات ألمونيوم (مل)	4	4	4	4	4	4	4	4
حمض كلور الماء(مل)	2	2	2	2	2	2	2	2
	يحرك المزيج ويترك ليرقد لمدة 5 دقائق قبل إضافة الكواشف اللاحقة.							
حمض الحماض(مل)	10	10	10	10	10	10	10	10
	يحرك ويترك ليستقر مدة دقيقتين							
محلول حمض أمينو نافتول السيلفونيك(مل)	4	4	4	4	4	4	4	4
	يكمل حجم كل زجاجة إلى 125 مليلترا" بالماء المقطر وتمزج جيدا							
تركيز السيليس بالعينة (مغ / لتر)	0	0.25	0.5	1	2	3	4	5

بعد 15 دقيقة من تحضير المحاليل الواردة في الجدول، تقاس امتصاصيتها باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (610 نانو مترات) ويرسم المنحني البياني العياري.

3- معايرة العينة المجهولة:

- السيليس المنحل: يؤخذ 100 مليلتر من الماء المراد معايرته، ويعامل معاملة المحاليل العيارية، وبالمقارنة بالمحلول العياري يحدد التركيز.
- السيليس الكلي: يضاف 1 غرام من كربونات الصوديوم الحمضية إلى 100 مليلتر من العينة المائية ويسخن المزيج مدة ساعة، ويضاف إليها بعد ذلك 2 مليلترا" من حمض الكبريت ويبرد المحلول، ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر بالماء المقطر، وتجرى عليه الخطوات الواردة في الجدول (7 – 24).

4- ملاحظات:

– إن الحد الأدنى في هذه الطريقة 0.02 مغ / لتر من السيليس.

– يضاف حمض الحماض للتخلص من تأثير شوارد الفوسفات على المعايرة، ولكن إذا كان تراكيز شوارد الفوسفات أعلى من 50 مغ / لتر مقدرة على أساس (P_2O_5) تصبح المعايرة مستحيلة.

7. 10 معايرة الشوارد الموجبة في الماء:

7. 10. 1 معايرة شوارد الكالسيوم:

آ) الطريقة الترسيبية :

يرسب الكالسيوم في صيغة حماضات الكالسيوم (أوكزالات الكالسيوم) في وسط حمضي (حمض الخل)، ويغسل الراسب الناتج ويكلس ثم يوزن.

ب) طريقة المعايرة الحجمية:
تذاب حماضات الكالسيوم المتكونة في الطريقة السابقة في حمض الكبريت، ويعاير المحلول الناتج ببرمنغنات البوتاسيوم.

ج) الطريقة اللونية :
يرسب الكالسيوم باستعمال كمية محدودة من حمض الكلورانيليك ($C_6H_2Cl_2O_4$) في وسط حمضي ($pH = 4 – 5$)، وتقاس الكمية الزائدة من الكاشف الحمضي بالطريقة اللونية.

د) طريقة المعقد E D T A:
تستعمل هذه الطريقة كمعيار لقياس قساوة الماء (TH) بتحديد تركيز شوارد الكالسيوم والمغنزيوم في الماء، وهو ما يعرف بالقساوة الكلية، أو شوارد الكالسيوم بمفردها وهو ما يعبر عن القساوة الكلسية.
تعتمد الطريقة التحليلية على تفاعل شوارد الكالسيوم والمغنزيوم المنحلة في الماء مع ملح ثنائي الصوديوم لحمض إيتيلين ثنائي أمين – رباعي الخل (Acide éthylène Diamine Tetraacetique) ذي الصيغة الآتية:

$$
\begin{matrix} CO_2H - CH_2 & & & & CH_2\ CO_2\ Na \\ & \searrow & & \nearrow & \\ & & N - CH_2 - CH_2 - N & & \\ & \nearrow & & \searrow & \\ CO_2Na - CH_2 & & & & CH_2\ CO_2\ H \end{matrix}
$$

EDTA

يكّون هذا المركب مع شوارد الكالسيوم والمغنزيوم المنحلة في الوسط المائي معقدات حلقية:

$$\left[\begin{array}{ccccc} CO-O & & Ca & & O-CO \\ | & & & & | \\ CH_2-N & & & & N-CH_2 \\ | & CH_2 & - & CH_2 & | \\ CH_2 & & & & CH_2 \\ | & & & & | \\ COO^- & & & & COO^- \end{array}\right] 2Na^+$$

حيث يدخل الإلكترونان الحران للآزوت في رابطة تساندية مع الكالسيوم.

تتم معايرة العينة المائية بمحلول EDTA (0.01 جزيء غرامي / لتر) بوجود مشعر أسود الإريوكروم (Noir d' Eriochrome T) ذي اللون الأزرق الذي يتحول إلى الأحمر بتفاعله مع شوارد المغنزيوم، تتطلب المعايرة وجود شوارد المغنزيوم في العينة المائية، ولذلك يضاف ملح EDTA المغنزيومي في حالة خلو العينة من شوارد المغنزيوم، عند إضافة المشعر إلى العينة تعطي اللون الأحمر، ويضاف محلول ملح EDTA إلى أن يظهر اللون الأزرق عند تفاعل شوارد المغنزيوم والكالسيوم مع معقد EDTA، ونظرا لكون التفاعل يحدث بين جزيء واحد من المعقد مع شاردة واحدة من الكالسيوم أو المغنزيوم فإنه بالإمكان حساب مجموع تركيزهما اعتمادا" على الكمية المضافة من محلول EDTA، ويمكن معايرة شوارد الكالسيوم بمفردها باستعمال نفس المحلول المعاير وبوجود مشعر آخر هو الموريكسيد (Murexide)، ويحسب تركيز شوارد المغنزيوم من الفرق بين المعايرتين.

1 – معايرة شوارد الكالسيوم والمغنزيوم معا":

يضاف إلى 100 مليلتر من الماء المراد معايرته الكواشف الآتية:

- ملح معقد EDTA المغنزيومي.
- مشعر أسود أريوكروم.
- يضاف 5 مليلترات من محلول الأمونيوم (67.5 غرام كلور الأمونيوم + 575 مليلترا" من هيدروكسيد الأمونيوم المركز + يكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر).

بعد مزج المحلول السابق، يضاف إليه محلول EDTA (0.01 جزيء غرامي / لتر) حتى ظهور اللون الأزرق، إن كل 1 مليلتر من محلول المعايرة يعادل 1 درجة فرنسية من القساوة الكلية (TH)، أي ما يعادل 5 ميلي مكافئ غرامي من الكالسيوم والمغنزيوم.

2 – معايرة الكالسيوم:

يضاف 4 مليلترات من محلول هيدروكسيد الصوديوم (1 نظامي) وقليل من مشعر الموريكسيد إلى (100 مليلتر) من الماء المراد معايرته، وتجرى المعايرة بمحلول EDTA (0.01 جزيء غرامي / لتر) إلى أن يتحول اللون الوردي إلى اللون البنفسجي، وإن كل 1 مليلتر من المحلول المعاير المضاف للعينة تعادل درجة فرنسية واحدة (5 ميلي مكافئ غرامي) من القساوة الكلسية (شوارد الكالسيوم).

3– ملاحظات:

– تعرقل شوارد النحاس (أعلى من 0.2 مغ / لتر) المعايرة، ولذلك يجري ترسيبها باستعمال ثنائي إيتيل ثنائي تيوكربامات الصوديوم [$NaS_2C\text{-}N\ (\ C_2H_5)_2$].

هـ) طريقة الامتصاص الذري Absorption Atomique:

تعتمد هذه الطريقة الفيزيائية التحليلية على خواص الذرات الحرة بامتصاص كوانتم من الطاقة عند طول موجة معينة، ويستعمل لهذه الغاية الجهاز الطيفي للامتصاص الذري ذو الشعلة المغذاة بالأسيتيلين – هواء مع وجود مصباح موافق للكالسيوم وتقاس الامتصاصية عند طول الموجة (422.7 نانومترا").

و) قياس شاردة الكالسيوم باستعمال المسرى العياري:

هناك عدة أنواع من المساري النوعية لشاردة الكالسيوم، ومجال القياس يمتد من تراكيز بقيمة 0.02 مغ/لتر إلى 40 غراما" / لتر.

ز) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

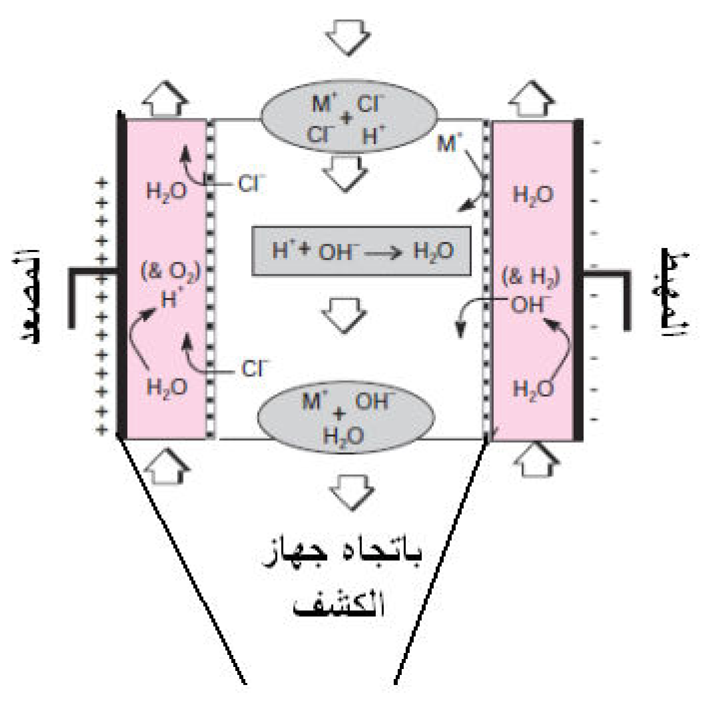
تعاير شاردة الكالسيوم والشوارد الموجبة المنحلة في الماء باستعمال تقنية الكروماتوغرافيا الشاردية التي تفصلها وتعايرها وذلك باستخدام عمود الفصل المناسب.

1 – التجهيزات المستعملة:

– جهاز الكروماتوغرافيا الشاردي.

– عمود فصل مناسب لفصل الشوارد الموجبة ويمكن استعمال العمود من نوع IC – Pak ، طوله 150 مليمترا"، وقطره 3.9 مليمترا".

– وحدة إزالة الشوارد المشوشة: يمكن استعمال آلية الميز الكهربائي المجهزة بأغشية تسمح للشوارد السالبة بعبورها، ويعطي الشكل (7 – 32) مخطط هذا النوع.



الشكل 7 – 32: مبدأ عمل وحدة إزالة الشوارد المشوشة بالميز الكهربائي والمجهزة بغشاء تعبره الشوارد السالبة.{81 }

– مقياس الناقلية الكهربائية.

2 – الطور المتحرك:

تتعلق تركيبة الطور المتحرك بعمود الفصل المستعمل، وعند استعمال عمود الفصل من نوع IC Pak –، يتكون الطور المتحرك من ثنائي الصوديوم لحمض إيتيلين ثنائي أمين – رباعي الخل(EDTA) بتركيز 0.1 مولا" / لتر ممزوجا" مع حمض الآزوت بتركيز 3 مليمولات / لتر. وتدفق الطور المتحرك بحدود 1 مليلتر / دقيقة مناسبا" ضمن هذه الشروط.

3 – المنحنيات البيانية العيارية:

تحضر محاليل عيارية للشوارد المراد معايرتها في العينة المائية، ويفضل أن يحضر 5 محاليل عيارية لكل شاردة ضمن المجالات الواردة في الجدول (7 – 25).

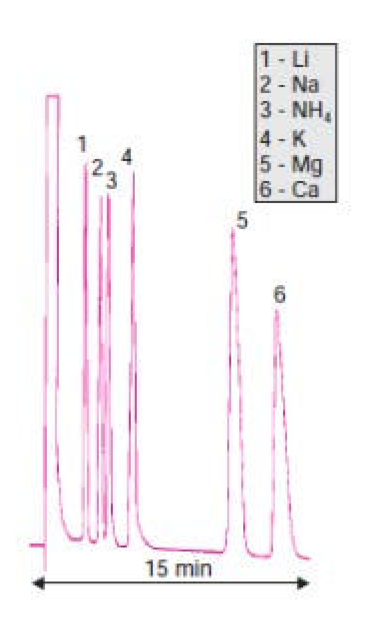
الجدول 7 – 25: المحاليل العيارية للشوارد الموجبة.

الشاردة	الحد الأدنى مغ / لتر	الحد الأعلى مغ / لتر
Ca^{++}	0.05	50
NH_4^+	0.1	10
K^+	0.1	10
Mg^{++}	0.5	50
Na^+	0.1	10
Li^+	0.01	1

تحقن العينات على التوالي من التركيز الأصغر إلى الأعلى لكل شاردة، ويرسم المنحني البياني للتركيز بدلالة الناقلية، ونظرا" لوجود حاسب دقيق في الأجهزة الحديثة، فإن تلك المنحنيات تخزن في الذاكرة، ويبرمج الجهاز لإعطاء النتيجة للعينة المجهولة مباشرة.

4- تحليل العينة:

لنفترض أن العينة المراد تحليلها هي عينة ماء الشرب وبالتالي لا تحتاج إلى ترشيح، وتحقن مباشرة في حجرة الحقن، ويظهر على مسجل الجهاز الكروماتوغرام للشوارد بعد فصلها وبحسب تواترها من حيث زمن الاحتفاظ، بينما سطح القمة يمثل التركيز، ويعطي الشكل (7 – 33) نموذجا" لكروماتوغرام ناتج ضمن الشروط الواردة (عمود فصل، وحدة إزالة الشوارد المشوشة، طور متحرك).



الشكل 7 – 33: كروماتوغرام يظهر الشوارد المحللة باستعمال الكروماتوغرافيا الشاردية. {81}

7. 10. 2 معايرة شوارد المغنزيوم :

آ) الطريقة الوزنية :

يجري التخلص من شوارد الكالسيوم قبل إجراء التحليل الوزني لشوارد المغنزيوم، وترسب شوارد المغنزيوم في صيغة فوسفات أمونيوم المغنزيوم، وهو يتحول بعد عملية تكليس إلى بيروفوسفات ($Mg_2P_2O_7$).

ب) الطريقة اللونية :

تعتمد على تفاعل أصفر تيازول (Jaune Thiazol) أو أصفر التيتان (Jaune de Titane) مع شوارد المغنزيوم بوجود النشاء (Amidon) معطيا" لونا" أحمر برتقاليا" إلى أحمر وفقا" لتركيز شوارد المغنزيوم، وتقاس الامتصاصية عند طول الموجبة (525 نانو مترا").

ج) طريقة الامتصاص الذري:

تقاس الامتصاصية للمغنزيوم باستعمال شعلة الأسيتيلين – هواء، ومصباح مناسب عند طول الموجة (285.1 نانومترا").

د) طريقة المعقد EDTA:

وردت الطريقة ضمن فقرة تحليل الكالسيوم.

ﻫ) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرة تحليل الكالسيوم.

7. 10. 3 معايرة الصوديوم:

تعدّ طريقة مطيافية اللهب والامتصاص الذري أكثر الطرائق انتشارا" في تحليل الصوديوم والبوتاسيوم على حد سواء، نظرا" لسرعتها ولحساسيتها الجيدة للقياس، ولكن في حالة عدم وجود الأجهزة اللازمة، فإنه بالإمكان الاستعاضة عنها بالطريقة اللونية أو الوزنية.

تحفظ العينات المائية في قارورات من البلاستيك لتجنب انتقال بعض الصوديوم في الزجاج إلى الماء المحفوظ فيه.

آ) طريقة مطيافية اللهب (Spectrométrie de Flamme) :

يعتمد جهاز الامتصاص الذري على إرسال رذاذ المحلول المائي الحاوي على الصوديوم على شعلة ذات درجة حرارة عالية، مما يؤدي إلى تفكك الملح إلى ذرات (أو تحرير جذور حرة)، تتعرض الذرات المحررة لعملية تحريض نتيجة الطاقة الحرارية العالية للشعلة، وتقوم الذرات في أثناء عودتها من الحالة المهيجة إلى الحالة المستقرة بإرسال إشعاعات مميزة لها، تستقبل تلك

الإشعاعات وتقاس كثافتها بوساطة جهاز طيفي، علما" أن كثافتها تتناسب مع تركيز العنصر في العينة المائية.

يتألف جهاز مطيافية اللهب من الأجزاءالرئيسية الآتية:

- بخاخ (مرذاذ) ويستعمل لتحويل المحلول السائل إلى رذاذ ضمن الشعلة.
- محرق مغذى بغاز الأسيتيلين والهواء.
- شعلة تحول الجزيئات إلى ذرات أو جذور حرة.
- نظام لاختيار طول الموجة الموافقة لكل عنصر.
- كاشف يستقبل الإشعاعات ويقيس كثافتها.

طريقة العمل:

تضبط نسبة الأسيتيلين إلى الهواء لإعطاء شعلة موافقة للصوديوم، ويجري اختيار الموجة الموافقة باستعمال محلول من شوارد الصوديوم (589 نانو مترا")، وتحضر محاليل عيارية من شوارد الصوديوم تكون تراكيزها محصورة بين الصفر و 10 مغ / لتر، وتقاس امتصاصيتها ويرسم المنحني البياني العياري، وتقاس امتصاصية العينة المائية وتقارن بالمنحني البياني لمعرفة التركيز، وتجرى عملية تمديد كبيرة للعينة المائية عادة قبل قياس امتصاصيتها نظرا" لأن نسبة الصوديوم في الماء الطبيعي أعلى بكثير من حدود المنحني العياري أو مجال قياس الجهاز.

ب) طريقة الامتصاص الذري (Absorption Atomique):

يجري قياس تركيز الصوديوم باستعمال جهاز الامتصاص الذري المتضمن مصباحا" خاصا" بالصوديوم ونظام شعلة الأسيتيلين, عند طول الموجة 589.6 نانو مترا".

ج) طريقة المسرى النوعي:

يقاس تركيز شوارد الصوديوم في الماء باستعمال مسرى نوعي لها، ويكون التركيز الأدنى الممكن قياسه بهذه الطريقة نحو 0.02 مغ / لتر.

د) الطريقة اللونية :

يرسب الصوديوم في صيغة زنك أورانيل خلات الصوديوم { $NaZn(UO_2)_3(CH_3CO_2)_9 , 6H_2O$}، ويغسل الراسب بحمض الخل والإيتر ومن ثم يحل بالماء معطيا" لونا" أصفر تتناسب كثافته مع تركيز الصوديوم في العينة، ويثبت اللون باستعمال محلول ممدد من سيلفوسيانور الصوديوم.

1 – لكواشف :

- كاشف زنك أورانيل خلات (ZUA):

يحضر الكاشف بمزج المحلولين الآتيين:

محلول أول: يذاب 80 غراما" من خلات الأورانيل[$UO_2(OCOCH_3)_2, 2H_2O$]، و 48 غراما" من محلول حمض الخل (30%) في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى 520 مليلترا" بالماء المقطر.

محلول ثانٍ: يذاب 220 غراما" من خلات الزنك، و 24 غراما" من حمض الخل (30 %) في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى 520 مليلترا" بالماء نفسه.

يسخن المحلولان السابقان على نحو منفصل داخل حمام مائي حتى الانحلال الكامل للأملاح، ثم يمزج المحلولان معا" ويسخن الناتج، وبعد أن يبرد المحلول يحفظ في قارورة زجاجية معتمة.

- الملح الثلاثي: يعالج 5 مليلترات من محلول كلور الصوديوم (2%) بوساطة 125 مليلترا" من الكاشف (ZUA)، ويحرك المزيج جيدا" ويترك ليرقد مدة ربع ساعة قبل أن يرشح، ويغسل الراسب جيدا" بحمض الخل أولا" ثم بالإيتر، ويجفف ضمن مجفف زجاجي يحتوي كلور الكالسيوم.
- محلول سيلفوسيانور الأمونيوم (NH_4NCS) بتركيز (0.1 نظامي).
- محلول قياسي من الصوديوم تركيزه (92 مغ/لتر): يحضر المحلول بإذابة 1.23 غراما" من الملح الثلاثي في 100 مليلتر من محلول سيلفوسيانور الأمونيوم وإكمال الحجم إلى 200 مليلتر باستعمال الماء المقطر.

2 – طريقة العمل:

يمزج 2 مليلتر من الماء المراد معايرته مع 11 مليلترا" من كاشف (ZUA) ويحرك المزيج جيدا"، ثم تجرى له عملية تثفيل بعد 15 دقيقة من تحضيره، ويغسل الراسب بالكحول ثم بالإيتر ويثفل بعد كل عملية غسل، ويجري التخلص من الإيتر بوضع الراسب في الدرجة 35^o م مدة 10 دقائق.

يحل الراسب المتكون في المرحلة السابقة ضمن 20 مليلترا" من محلول سيلفوسيانور الأمونيوم، ويثفل من جديد لإزالة الشوائب غير المنحلة، ويوضع المحلول في حمام مائي درجة حرارته 25^o م مدة 5 دقائق.

يعامل محلول مؤلف من 2 مليلتر من الماء المقطر و 11 مليلترا" من كاشف (ZUA) معاملة العينة المجهولة تماما" وتعدّ العينة الشاهد، وتقاس الامتصاصية باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (420 نانو مترا") للمحلولين السابقين (محلول العينة ومحلول شاهد)، ينجز منحني بياني عياري باستعمال الملح الثلاثي وإجراء المراحل الواردة مع العينة المجهولة نفسها.

هـ) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرة تحليل الكالسيوم.

7. 10. 4 معايرة شوارد البوتاسيوم :

آ) الطريقة اللونية:

تعتمد على ترسيب شوارد البوتاسيوم في صيغة معقد نيتروالكوبلت، وإذابة الراسب الناتج في الماء وقياس امتصاصية اللون الأزرق الناتج عن الكوبلت بوجود سيلفوسيانور الأمونيوم.

1 – الكواشف :

- سيلفوسيانور الأمونيوم ($CNS\text{-}NH_4$): يمزج 100 مليلتر من محلول سيلفوسيانور الأمونيوم مع 400 مليلتر من الأسيتون.

- كاشف نترو كوبلت الصوديوم: يذاب 150 غراما" من ($NaNO_2$) في 150 مليلترا" من الماء المقطر الساخن، مما يؤدي إلى تكوين بلورات نتريت الصوديوم في أثناء عملية التبريد في الدرجة 40^o إلى 50^o م، يضاف عند تلك الدرجة من الحرارة 50 غراما" من نترات الكوبلت المبلورة، و50 مليلترا" من محلول حمض الخل (50%)، ويترك المزيج ليبرد مع إمرار فقاعات هوائية بداخله مدة نصف ساعة، يرشح الراسب البني الناتج ويوضع في 50 مليلترا" من الماء الساخن (70^oم– 80^oم) مع الاحتفاظ بالرشاحة، وتجري عملية ترشيح ثانية وتجمع الرشاحة الثانية مع الرشاحة الأولى ويضاف إليهما 250 مليلترا" من الكحول مع التحريك المستمر، يتكون في أثناء ذلك راسب من نيتروكوبلت الصوديوم الذي يفصل عن المحلول ويغسل جيدا" بالكحول والإيتر، ويجفف الراسب بالهواء حيث يكون وزنه محصورا" بين 50 إلى 60 غراما"، ويستعمل فيما بعد فترة طويلة، ويحل 1 غرام من الملح المحضر في 5 مليلترات من حمض الخل (1%) ليعطي المحلول المستعمل في المعايرة.

- محاليل غسل الراسب: تحضر المحاليل الآتية:

الجدول 7 – 26: تحضير محاليل غسل الراسب.

	كحول(مل)	إيتر إيتيلي(مل)	حمض خل(مل)	ماء مقطر(مل)
الأول	12	12	4	6
الثاني	10	10	0	0
الثالث	0	10	0	0

2 – طريقة العمل:

يضاف 1.25 مليلترا" من محلول نيتروكوبلت الصوديوم المحضر سابقا" إلى 5 مليلترات من العينة المائية المراد معايرتها، ويمزج المحلول جيدا"، ويرقد مدة نصف ساعة، ويفصل الراسب المتكون عن المحلول باستعمال المثقلة، ويغسل بمحاليل الغسل المحضرة على الترتيب تبعا" لتسلسلها، ويفصل الراسب عن محلول الغسل في كل مرة باستعمال المثقلة، ويحل الراسب الناتج في 5 مليلترات من الماء المقطر ويكمل الحجم إلى 10 مليلترات باستعمال محلول سلفوسيانور الأمونيوم، وتقاس امتصاصية المحلول الأزرق الناتج باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (590 نانو مترا")، وتقارن النتيجة بمنحنٍ بياني عياري ينجز باستعمال الخطوات نفسها على عينات محضرة من شوارد البوتاسيوم يتراوح تركيزها بين الصفر و 0.05 مليغراما" في 5 مليلترات ماء.

3– ملاحظات:

يجب التخلص من شوارد الأمونيوم المنحلة في العينة المائية قبل إجراء المعايرة، ويجري ذلك بإضافة 1 مليلتر من محلول هيدروكسيد الصوديوم (25%) إلى 100 مليلتر من العينة المائية، ويبخر المزيج ويكلس الراسب الناتج في الدرجة 180^{o} م مدة ساعتين على الأقل، ثم يذاب من جديد في 10 مليلترات من الماء الساخن وتتابع عملية المعايرة.

ب) طريقة مطيافية اللهب :

تستعمل هذه الطريقة على نطاق واسع في تحليل شوارد البوتاسيوم باستعمال شعلة من الأسيتيلين – هواء، وقياس الامتصاصية عند طول الموجة 766.5 نانو مترا"، وتتبع المراحل ذاتها التي وردت في معايرة شوارد الصوديوم.

ج) طريقة الامتصاص الذري:

يستعمل لإجراء التحليل جهاز الامتصاص الذري المجهز بمصباح البوتاسيوم ونظام شعلة الأسيتيلين، ويتم القياس عند طول الموجة 766.5 نانو مترا".

د) طريقة المسرى النوعي:

يقاس تركيز شوارد البوتاسيوم باستعمال مسرى نوعي لها، مع مجال للتركيز بين 0.04 مغ / لترإلى 39 غرام / لتر.

ه) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرة تحليل الكالسيوم.

7. 10. 5 معايرة الألمنيوم :

آ) الطريقة اللونية:

تعتمد الطريقة على تكوين معقد ملون لشوارد الألمنيوم قابل للقياس بالجهاز الطيفي اللوني.

1 – الكواشف :

- محلول مائي لبارانيتروفينول (1%).
- حمض كلور الماء النظامي.
- هيدروكسيد الأمونيوم النظامية.
- محلول حمض التيوغليكوليك ($HS\text{-}CH_2 - COOH$) بتركيز (1%).
- محلول موقٍ: يحضر بمزج الكميات الآتية:

1) 133 غراما" من خلات الأمونيوم في 100 مليلتر ماءً مقطرا".
2) 126 مليلترا" من حمض الكلور الماء النظامي في 100 مليلتر ماءً مقطرا".
3) 0.9 غرام من الألومينون ($C_{22}H_{23}N_3O_9$) في 100 مليلتر ماءً مقطرا".
4) 10 غرام صمغ عربي في 100 مليلتر ماءً مقطرا".

تجمع المحاليل الأربعة ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، ويعطي المزيج المحضر محلولا" موقيا" حمضي الوسط ($pH = 3.8 - 4$).

- محلول عياري من الألمنيوم (0.1 غ / لتر): يحضر من ملح الكبريتات المضاعفة للألمنيوم والبوتاسيوم [$Al\ K\ (SO_4)_2$].
- محلول عياري من الألمنيوم (5 مليغرامات / لتر): يحضر بتمديد كمية من المحلول السابق.

2 – المنحني البياني العياري:

يوضع في سلسلة من الحوجلات وعلى الترتيب: صفر، 2، 4، 6، 8، 10 مليلتر من محلول الألمنيوم العياري (5 مليغرامات/ لتر)، ويكمل حجم كل منها بالماء المقطر إلى 50 مليلترا"، ويضاف إلى كل حوجلة قطرة واحدة من محلول بارانتروفينول، وإذا ظهر لون أصفر يضاف

حمض كلور الماء النظامي حتى اختفاء اللون، وفي حالة عدم ظهور أي لون يضاف هيدروكسيد الأمونيوم حتى ظهور اللون الأصفر. ويضاف بعد ذلك 2 مليلترا" من محلول حمض التيوغليكوليك و10 مليلترات من المحلول الموقي، توضع الحوجلات ضمن حمام مائي بدرجة الغليان مدة 15 دقيقة، وتبرد الحوجلات ويكمل حجم كل منها إلى 100 مليلتر بالماء المقطر، ويكون تركيز الألمنيوم في تلك العينات على الترتيب (صفر – 0. 2 – 0. 4 – 0. 6 – 0. 8 – 1 مليغرام / لتر).

تقاس امتصاصية المحاليل السابقة عند طول الموجة (525 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز.

3– قياس تركيز الألمنيوم في العينة المائية:

يصب 50 مليلترا" من الماء المراد معالجته في حوجلة سعتها 250 مليلترا"، يضاف إليها قطرة من محلول بارانيتروفينول وتجرى عليها المراحل نفسها، التي أجريت على العينات معلومة التركيز، ويحدد التركيز من المنحني البياني العياري.

ب) معايرة الألمنيوم باستعمال جهاز الامتصاص الذري:

يعاير الألمنيوم مباشرة باستعمال جهاز الامتصاص الذري والمصباح المناسب، وقياس الامتصاصية عند طول الموجة (525 نانومترا").

7. 10. 6 معايرة النحاس:

آ) الطريقة اللونية:

يعطي النحاس بتفاعله مع الأوكزاليل ثنائي هيدرازيد أسيت ألدهيد (Oxalyl Dihydrazide – Acetaldehyde) في وسط قلوي (pH = 9. 3) معقدا" ملونا" قابلا" للقياس بالطريقة اللونية.

1 – الكواشف :

- حمض الآزوت المركز، هيدروكسيد الأمونيوم المركز، حمض السيتريك (50 %).
- محلول أسيت ألدهيد (40%)، ويحضر هذا المحلول بدرجة حرارة منخفضة لأن درجة حرارة تبخره هي 21^{o} م.

- محلول أوكزاليك ثنائي هيدرازيد (0.25%): يحضر المحلول بإذابة 146 غراما" من أوكزالات (حماضات) الإتيل في 730 مليلترا" من الكحول، ويذاب من جهة أخرى 128 غراما" من هيدرات الهيدرازيد (50%) في 320 مليلترا" كحولا"، ويجمع المحلولان السابقان معا" ويمزجان جيدا"، ثم يترك المزيج المحضر مدة أربع ساعات، ويتكون راسب يرشح ويجفف ثم

يحل من جديد في لتر من الماء المغلي، وتعاد عملية البلورة تلك إلى أن يجري الحصول على بلورات نقية من أوكزاليك ثنائي الهيدرازيد .

- محلول عياري من النحاس (10 مغ / لتر): يذاب غرام واحد من النحاس النقي في 5 مليلترات من حمض الآزوت المركز ويمدد الناتج إلى اللتر بالماء المقطر. تؤخذ كمية من المحلول السابق وتمدد 100 مرة للحصول على المحلول العياري (10 مغ / لتر).

2 – المنحني البياني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 27) باستعمال حوجلات عيارية سعتها 100 مليلتر.

الجدول 7 – 27: تحضير محاليل عياريه من النحاس.

رقم الحوجلة		0	1	2	3	4	5
	الوحدة						
محلول النحاس (10 مغ / لتر)	مل	0	2	4	6	8	10
الماء المقطر	مل	40	40	40	40	40	40
حمض السيتريك (50%)	مل	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
هيدروكسيد الأمونيوم المركز	مل	8	8	8	8	8	8
أسيت ألدهيد (40 %)	مل	10	10	10	10	10	10
أوكزاليك (0.25%)	مل	10	10	10	10	10	10
الماء المقطر		يكمل الحجم إلى 100 مليلتر وترقد مدة 30 دقيقة قبل إجراء القياس					
تركيز النحاس	ميكروغرام/لتر	0	2	4	6	8	10

تقاس الامتصاصية عند طول الموجة (540 نانومترا") باستعمال الجهاز الطيفي ويرسم المنحني البياني العياري للامتصاصية بدلالة التركيز.

3– قياس تركيز النحاس في عينة مائية:

يضاف إلى 50 مليلترا" من الماء المراد معايرته الكميات الواردة نفسها في الجدول (7 – 27) وتقاس الامتصاصية عند طول الموجة (540 نانو مترا")، ويحسب التركيز استنادا إلى المنحني العياري.

ب) طريقة الامتصاص الذري:

يكوّن معقدا" نحاسيا" مع أمونيوم بيروليديوم ثنائي تيوكريامات(Ammonuim Pyrrolidium dithiocarbamate) ويستخلص بوسط حمضي (pH = 3. 5) بوساطة محل عضوي

(Methylisobutylcetone) ثم يقاس المحلول المستخلص مباشرة، باستعمال جهاز الامتصاص الذري عند طول الموجة (324.7 نانو مترا").

7. 10. 7 معايرة شوارد الحديد:

آ) الطريقة اللونية:

تعتمد على تكوين معقد ملون نتيجة تفاعل شوارد الحديد الثنائية مع أورتوفينانترولين (O- Phenanthroline) ولذلك يجب إرجاع الحديد الثلاثي إلى الحديد الثنائي بوساطة حمض الأسكوربيك (Acide Ascorbique).

1- الكواشف :

- محلول نظامي من حمض كلور الماء.
- محلول مشبع من خلات الصوديوم
- محلول حمض الأسكوربيك ($C_6H_8O_6$) بتركيز (1%) ويحضر يوميا".
- محلول أورتوفينانترولين (0.1%).
- محلول عياري من شوارد الحديد (0.01 غ / لتر).

2- المنحني البياني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 28). ويجري المزج جيدا" عند كل إضافة، وبعد اكتمال الإضافات والمزج تترك المحاليل مدة 30 دقيقة قبل إجراء عملية قياس الامتصاصية عند طول الموجة (510 نانومترات)، ويرسم المنحني البياني للامتصاصية بدلالة التركيز.

الجدول 7 – 28: تحضير المحاليل العيارية.

رقم الأنبوب	0	1	2	3	4	5	6
محلول الحديد العياري (مل)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1
ماء مقطر (مل)	10	9.9	9.8	9.6	9.4	9.2	9
حمض كلور الماء (مل)	1	1	1	1	1	1	1
خلات الصوديوم (مل)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
حمض الأسكوربيك (مل)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
محلول أورتو فينانترولين(مل)	1	1	1	1	1	1	1
تركيز الحديد (مغ / لتر)	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1

3– قياس تركيز محلول مجهول:

يضاف إلى 10 مليلترات من العينة المراد معايرتها و1 مليلتر من حمض كلور الماء النظامي، ويسخن المزيج حتى الغليان لضمان انحلال الحديد الموجود في العينة في صيغته المعدنية، ويبرد المزيج ويكمل حجمه إلى 10 مليلترات بالماء المقطر، ويضاف إلى المزيج الكميات نفسها من الكواشف التي أضيفت إلى المحلول العياري، وتقاس امتصاصية العينة عند طول الموجة (510 نانو مترات)، وتقارن النتيجة بالمنحني العياري لمعرفة تركيزها.

ب) طريقة الامتصاص الذري :

تعتمد الطريقة على تكوين الحديد معقدا" مع أمونيوم بيروليديوم ثنائي تيوكربامات (Ammonuim Pyrrolidium Dithiocarbamate) ويستخلص بوسط حمضي (pH = 3. 5) بوساطة محل عضوي (Methylisobutylcetone) ثم تقاس امتصاصية المحلول المستخلص مباشرة، باستعمال جهاز الامتصاص الذري عند طول الموجة (248.3 نانومترا").

7. 10. 8 معايرة المنغنيز:

أ) الطريقة اللونية:

يؤكسد المنغنيز بوساطة بيرسولفات الأمونيوم (Persulfate d'Ammonium) والماء الأكسجيني إلى برمنغنات بوجود وسيط من نترات الفضة، وتعاير البرمنغنات المتكونة بالطريقة الطيفية.

1 – الكواشف:

- الماء الأكسجيني (30%).
- بيرسلفات الأمونيوم [$(NH_4)_2S_2O_8$].
- كاشف المنغنيز، ويحضر بمزج المركبات الآتية: 75 غراما" كبريتات الزئبق + 400 مليلتر من حمض الآزوت النظامي + 200 مليلتر ماء" مقطرا" + 200 مليلتر من حمض الفُسفور (85%) + 35 مليغراما" من نترات الفضة، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، ويسمى هذا المزيج كاشف المنغنيز.
- محلول عياري من المنغنيز تركيزه (10 مليغرام/ لتر): يحضر بإذابة 288 مليغراما" من برمنغنات البوتاسيوم في 100 مليلتر من الماء المقطر الحاوي على 3 مليلترات من حمض الكبريت المركز، يضاف إلى المزيج السابق 0.4 غرام كبريتيت أحادي

الصوديوم، ويسخن المزيج حتى الغليان، ثم يبرد ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، يمدد جزء من المحلول السابق عشر مرات للحصول على المحلول العياري بتركيز قدره (10 مليغرامات / لتر).

2 – المنحني البياني العياري:

يوضع في سلسلة كؤوس سعة الواحد منها 250 مليلترا" المقادير الآتية من محلول برمنغنات البوتاسيوم العياري: صفر – 10 –20 –50 – 100 – 150 مليلترا" ويضاف إلى كل منها 5 مليلترات من كاشف المنغنيز، وتمدد المحاليل الأربعة الأولى بالماء المقطر إلى الحجم 90 مليلترا"، ويبخر المحلولان الأخيران حتى يصبح حجم المحلول 90 مليلترا"، ويضاف 1 غرام من بيرسولفات الأمونيوم لكل محلول، وتسخن المحاليل حتى الغليان، حيث تترك دقيقة واحدة في وضعية الغليان، وتبرد بسرعة، ويكمل حجم كل منها بالماء المقطر إلى الحجم 100 مليلتر، وتقاس امتصاصية المحاليل السابقة عند طول الموجة (525 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز.

3– قياس تركيز العينة المائية:

تعامل عينة مجهولة التركيز معاملة العينات العيارية السابقة مع تحضير محلول شاهد من الماء المقطر، وتقاس امتصاصية العينة المجهولة ويضبط صفر الجهاز على عينة الشاهد، ثم تقارن النتيجة مع المنحني العياري لتحديد تركيزها.

ب) طريقة الامتصاص الذري:

تعتمد الطريقة على تكوين المنغنيز معقدا" مع أمونيوم بيروليديوم ثنائي تيوكربامات (Ammonuim Pyrrolidium Dithiocarbamate) ويستخلص في وسط حمضي (pH = 3. 5) بوساطة محل عضوي (Methylisobutylcetone) ثم يقاس المحلول المستخلص مباشرة باستعمال جهاز الامتصاص الذري عند طول الموجة (279.5 نانو مترا").

7. 10. 9 معايرة الزنك :

آ) الطريقة اللونية:

يتفاعل فيروسيانور البوتاسيوم مع الزنك مكونا" راسبا" غرويا" من فيروسيانورالزنك القابل للقياس الطيفي اللوني.

1 – الكواشف:

- حمض كلور الماء المركز، ومحلول كلور الأمونيوم (10%)، ومحلول سولفيت الصوديوم (10%)، ومحلول فيرو سيانور البوتاسيوم (0.5%).
- محلول الزنك (10 مغ / لتر): يحضر بحل 2.467 غراما" من كبريتات الزنك في لتر ماء مقطر، يؤخذ جزء من المحلول ويمدد 100 مرة ليعطي محلولا" عياريا" تركيزه (10 مغ / لتر) من الزنك.

2 – المنحني البياني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 29).

الجدول 7 – 29: تحضير المحاليل العيارية للزنك.

رقم الحوجلة	0	1	2	3	4	5	6
محلول الزنك العياري (مل)	0	1.25	2.5	3.75	5	6.25	12.5
ماء مقطر (مل)	إكمال الحجم إلى 25 مليلترا" بالماء المقطر						
حمض كلور الماء (مل)	1	1	1	1	1	1	1
محلول كلور الأمونيوم (مل)	20	20	20	20	20	20	20
محلول سولفيت الصوديوم(قطرة)	1	1	1	1	1	1	1
تركيز الزنك (مغ / لتر)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3

تترك المحاليل المحضرة هادئة مدة خمس دقائق، ثم يضاف إلى كل منها 1 مليلتر من فيروسيانور البوتاسيوم (0.5%)، ترج المحاليل جيدا"، وتترك مدة خمس دقائق قبل إجراء قياس الامتصاصية عند طول الموجة (650 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز.

3 – قياس تراكيز العينات المائية:

يوضع 25 مليلترا" من الماء المراد معايرته في حوجلة سعتها 50 مليلترا"، ويضاف إليها المحاليل الواردة في الجدول أعلاه وعلى الترتيب، وتقاس امتصاصية المحلول عند الموجة (650 نانومترا") وتقارن النتيجة مع المنحني العياري لتحديد تركيز الزنك في العينة.

7. 11 تحليل أهم العناصر الضارة المحتمل وجودها في المياه السطحية:

7. 11. 1 معايرة الفضة:

يمكن معايرة الفضة بعدة طرائق:

1- الطريقة اللونية التي تعتمد على تكوين الفضة مع الديتيزون (Dithizone) في وسط حمضي معطية ديتيزونات الفضة القابلة للاستخلاص بمحل عضوي والقياس باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة 620 نانومترا".

2- طريقة الامتصاص الذري:

إذا كان تركيز الفضة في الماء أعلى من (0.05 مغ / لتر) تجرى عملية قياس التركيز مباشرة باستعمال جهاز الامتصاص الذري، ولكن نظرا" لأن تركيز الفضة الطبيعي أو بالتلوث يكون أقل من ذلك بكثير تجرى عملية استخلاص الفضة من الماء في صيغة معقد عضوي قبل إجراء القياس باستعمال جهاز الامتصاص الذري.

يجري تشكيل معقد من الفضة المنحلة في الماء مع أمونيوم البيروليديوم ثنائي تيوكربامات ($C_5H_8NS_2.\ NH_4$) ويرمز له (APDC) باستعمال محل من ميتيل إيزوبوتيل سيتون في وسط حمضي (pH = 3. 5)، ويعاير المحلول مباشرة باستعمال جهاز الامتصاص الذري.

1 – الأجهزة اللازمة:

- جهاز الامتصاص الذري مع مصباح خاص بالفضة.
- خلاط.
- مثفلة.
- جهاز قياس pH.

2 – الكواشف :

- حمض الآزوت المركز.
- محلول موقي من كلور الأمونيوم (pH = 9): يذاب 25 غراما" من كلور الأمونيوم في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر، وتعدل قيمة pH الوسط إلى 9 باستعمال محلول هيدروكسيد الصوديوم (25%).

- محلول (APDC) بتركيز (20 غ / لتر).
- المحل العضوي: ميتيل إيزوبوتيل سيتون [$(CH_3)_2$ CH-CH_2-CO-CH_3]
- محلول من الفضة تركيزه (0.1 مغ / لتر): يحضر بإذابة 0.1574 غراما" من نترات الفضة اللامائية في الماء المقطر ويضاف إليها 14 مليلترا" من حمض الكبريت ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.

3 – طريقة العمل :

يضاف الحمض إلى العينة المخصصة للتحليل لحظة الحصول عليها عادة، ولذلك يجري تعديل الوسط قبل القياس إلى القيمة (pH = 3. 5) باستعمال المحلول الموقي، ويوضع 400 مليلتر من الماء المراد معايرته، بعد عملية التعديل، في قمع فصل ويضاف إليه 50 مليلترا" من محلول (APDC)، ويرج محتوى قمع الفصل جيدا" مدة خمس دقائق ثم يضاف إليه 50 مليلترا" من المحل العضوي ويرج من جديدٍ مدة عشرة دقائق، ويترك ليرقد مدة ساعة على الأقل قبل فصل الطبقة العضوية عن الطبقة المائية، تثفل الطبقة العضوية للتخلص من آثار الماء المتبقية، وتجرى عملية القياس باستعمال جهاز الامتصاص الذري وعند طول الموجة (328.1 نانو مترا").

يجري إنجاز المنحني البياني العياري باتباع الخطوات السابقة نفسها باستعمال محاليل يتراوح تركيزها بين الصفر و 40 ميكروغراما" في اللتر.

7. 11. 2 معايرة الكادميوم:

آ) طريقة الامتصاص الذري:

يعاير الكادميوم بطريقة الامتصاص الذري، بتكوين معقد مع أمونيوم بيروليديوم ثنائي تيوكربامات ($C_5H_8NS_2$. NH_4)، ويستخلص المعقد الناتج باستعمال محل ميتيل إيزوبوتيل سيتون في وسط حمضي (pH = 3. 5)، ويقاس التركيز باستعمال جهاز الامتصاص الذري.

1 – الكواشف:

- حمض آزوت مركز.

- محلول موقي من كلور الأمونيوم (pH = 9): يذاب 25 غراما" من كلور الأمونيوم في الماء المقطر ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر. وتعدل قيمة pH الوسط إلى 9 باستعمال محلول هيدروكسيد الصوديوم (25 %).
- المحل العضوي: ميتيل إيزوبوتيل سيتون [$(CH_3)_2$ CH-CH_2-CO-CH_3]
- محلول كادميوم (0.1 مغ / لتر): يذاب 0.1 غرام من الكادميوم النقي بحمض الآزوت ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر بالماء المقطر، يمدد المحلول السابق على عدة مراحل للحصول على التركيز المطلوب (0.1 مغ / لتر).

2 – المنحني العياري:

تحضر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 30) ضمن حوجلات عياريه سعتها 500 مليلتر.

الجدول 7 – 30: تحضير محاليل عياريه مختلفة التركيز.

	رقم الحوجلة / الوحدة	0	1	2	3	4	5
محلول كادميوم(0.1 مغ/لتر)	مل	0	5	25	50	125	250
حمض آزوت	مل	1	1	1	1	1	1
ماء مقطر	مل	يكمل الحجم إلى 500 مل بالماء المقطر					
التركيز	ميكروغرام/ لتر	0	1	5	10	25	50

تنقل محتويات الحوجلات السابقة إلى أقماع فصل، ويضاف إلى كل منها 50 مليلترا" من محلول أمونيوم بيروليديوم ثنائي تيوكربامات، ويرج القمع جيدا ويضاف إليه 50 مليلترا" من المحل العضوي، وتعاد عملية الرج مدة عشرة دقائق، وتفصل الطبقة العضوية الحاوية على معقد الكادميوم، وتقاس امتصاصيتها باستعمال جهاز الامتصاص الذري عند طول الموجة (228.8 نانو مترا")، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز.

3– قياس تركيز العينات المجهولة:

تحمض العينات عند أخذها مباشرة من المصدر المائي، ولذلك يجب تعديل حموضة العينة بالمحلول الموقي، تجري هذه العملية مباشرة قبل إجراء التحليل، ويفضل أن يعدل حتى تصل قيمة pH الوسط إلى 3.5، ويؤخذ 500 مليلتر من العينة المعدلة، وتعالج كما ورد في فقرة المنحني العياري، وتقارن نتيجة القياس مع المنحني العياري لتحديد تركيز العينة.

3– ملاحظات:

- تطبق هذه الطريقة على المياه الفقيرة بالملوثات العضوية فقط.

- في حالة كون تركيز الكادميوم في العينة المائية أعلى من 50 ميكروغراما" في اللتر ليس هناك ضرورة لعملية الاستخلاص ويقاس التركيز مباشرة.

ب) طريقة المسرى النوعي:
هناك أنواع مختلفة من المساري النوعية لشاردة الكادميوم، وإمكان قياس تراكيز تبدأ من 0.01 مغ / لتر من شاردة الكادميوم في الماء.

7. 11. 3 معايرة شوارد الفلور:

آ) الطريقة اللونية:
تعاير شوارد الفلور بطرائق عديدة ولكن أفضلها الطريقة اللونية، ويفضل إجراء عملية تقطير للعينة قبل معايرتها للتخلص من الشوارد التي تتدخل في عملية المعايرة ومنها شوارد الكلوريد والكبريتات والفوسفات وغيرها.
تكوّن شوارد الفلور والزيركونيوم معقدا" ملونا" بوجود إريوكروم السيانين (Eriochrome Cyanine R)، وتقاس امتصاصية اللون بالطريقة الطيفية.

1– الكواشف :

– حمض كلور الماء المركز.
– المحلول الأول: محلول مائي من إريوكروم السيانين تركيزه (1 غ / لتر).
– المحلول الثاني: محلول زيركونيوم، ويحضر بإذابة 0.265 غراما" من ملح ($ZrOCl_2$, 8 H_2O) في 50 مليلترا" ماء" مقطرا" و 700 مليلتر من حمض كلور الماء المركز، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر(محلول ملح أوكسيكلوريد الزركنيوم).
– المحلول الثالث: محلول مرجع ويحضر بمزج 10 مليلترات من إريوكروم سيانين مع 5 مليلترات من حمض كلور الماء المركز ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر بالماء المقطر.
– المحلول الرابع: محلول عياري من شوارد الفلوريد (0.1غ / لتر)، يحضر بإذابة 0.221 غراما" من فلوريد الصوديوم في لتر ماء مقطر، ويحفظ المحلول السابق، ويمدد الجزء المطلوب قبل التجربة مباشرة لتحضير المحلول الخامس و تركيزه (2 مغ / لتر).
– المحلول السادس: هيدروكسيد الصوديوم (1 نظامي).
– المحلول السابع: مشعر فينول فتالين في الميتانول (1 غ / لتر).

- حمض بيركلوريك ($HClO_4$).
- كحول إيزو أميليك (Iso – amylique).
- قطن زجاجي مغسول بحمض كلور الماء وحمض الكبريت وحمض الآزوت والماء ومجفف مدة ساعتين في الدرجة 105^{o} م.

2 – تقطير العينة المائية:

يحدد حجم العينة المراد تقطيرها تبعا" لتركيز الفلور في الماء، ويمكن تقدير ذلك استنادا" إلى الجدول (7– 31).

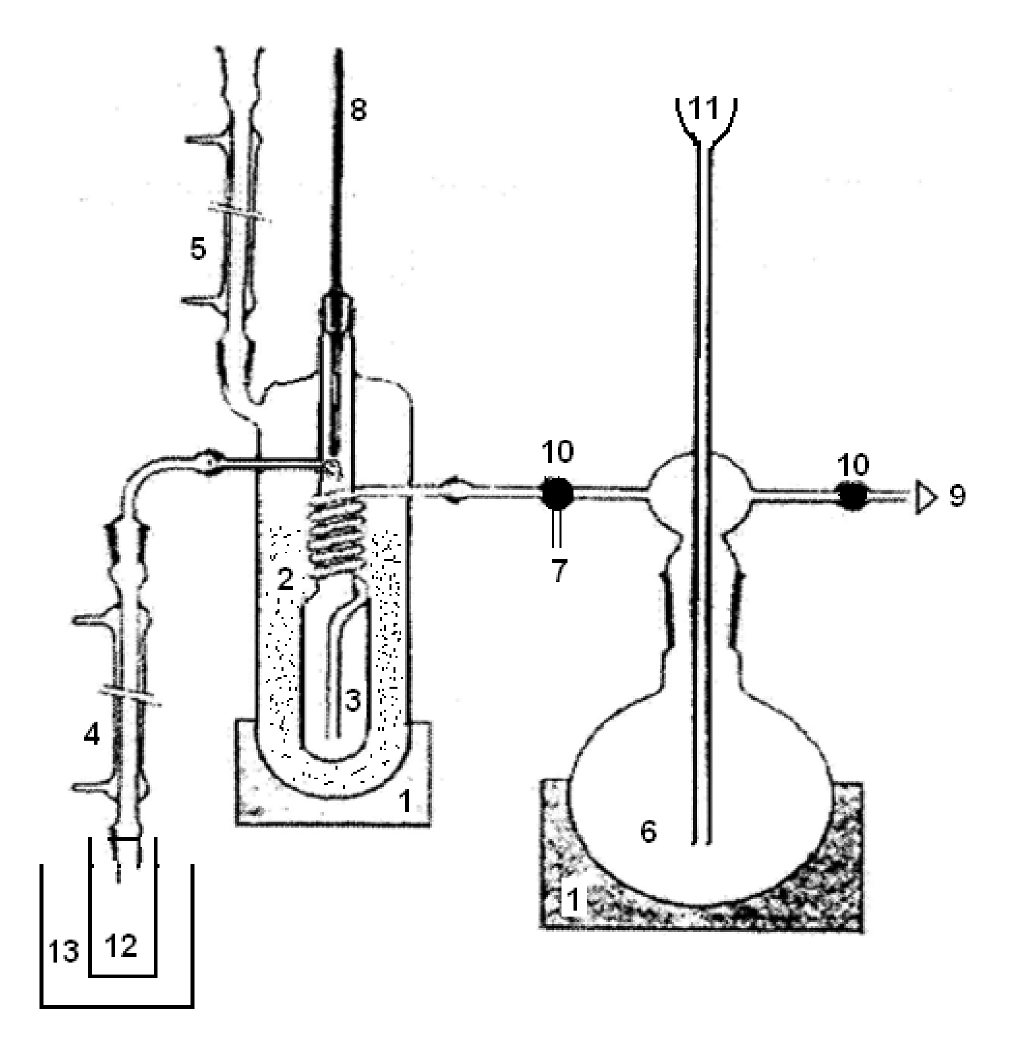
الجدول 7 – 31: حجم العينات المقطرة لتحليل شوارد الفلوريد.

حجم العينة المائية (مل)	15	100	500	1000
تركيز الفلور (ميكروغرام / لتر)	3000	400 – 3000	100 – 400	20

يضاف هيدروكسيد الصوديوم إلى العينة إلى أن يصبح الوسط قلويا (pH = 8. 3)، وتبخر العينة ضمن جفنة من البلاتين أو النيكل حتى يصبح حجمها 15 مليلترا" تقريبا"، وبعد أن تبرد العينة توضع في حوجلة التقطير (الشكل 7 – 34) مع قطرات من المشعر (المحلول السابع) ويضاف اليها حمض البيركلوريك إلى أن يتحول لون المشعر من القلوي إلى الحمضي، عند ذلك يضاف 25 مليلترا" من حمض البيركلوريك و 1 غرام من الصوف الزجاجي النظيف.

يسكب الكحول الإيزو أميليك في الحوجلة المحيطة بحوجلة التقطير حتى منتصفها، وتبدأ عملية التسخين.

تجرى عملية الاستخلاص بالبخار مع ضبط درجة حرارة البخار عند الدرجة 127^{o} م ومن أجل سرعة في التقطير مساوية 4 مليلترات في الدقيقة، تجمع القطارة الناتجة في حوجلات متتالية إلى أن يجري الحصول على قطارة خالية من الفلور.



1- سخان، 2- كحول إيزو أميليك، 3- حوجلة التقطير، 4- مبرد القطارة، 5- مبرد الكحول، 6- مولد البخار، 7- تصريف البخار المتكاثف، 8- ميزان حرارة، 9- تصرف البخار الزائد، 10- صمام، 11- فتحة إضافة الماء، 12- القطارة، 13- ثلج.

الشكل 7 – 34: جهاز التقطير.

3- المنحني البياني العياري:

ينجز المنحني العياري على المحاليل الواردة في الجدول (7 – 32).

الجدول 7 – 32: تحضير المحاليل العيارية.

رقم الحوجلة	0	1	2	3
المحلول الخامس (مل)	0	1	2	3
المحلول الثاني (مل)	1	1	1	1
المحلول الثالث (مل)	1	1	1	1
ماء مقطر	يكمل الحجم إلى 10 مليلترات			
تركيز الفلور (مغ / لتر)	0	0.2	0.4	0.6

بعد رج جيد للعينات السابقة تترك لترقد مدة عشر دقائق قبل أن تقاس امتصاصيتها باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (540 نانو مترا") ويرسم المنحني البياني العياري، ويجب أخذ العلم أن صلاحية المنحني العياري يوم واحد فقط، ولذلك يجب إعادته باستمرار.

4– قياس تركيز العينات المقطرة:

يوضع 5 مليلترات من العينة المائية المقطرة في حوجلة سعتها 10 مليلترات، يضاف إليها 1 مليلتر من المحلول الثاني و 1 مليلتر من المحلول الأول ويكمل الحجم بالماء المقطر، وتمزج العينة جيدا" وتترك مدة عشرة دقائق قبل قياس امتصاصيتها بالجهاز الطيفي عند طول الموجة (540 نانومترا")، والتركيز الموافق للامتصاصية على المنحني العياري مضروبا" باثنين يعطي التركيز في العينة المجهولة.

ب) طريقة المسرى النوعي:

يمكن قياس تركيز شاردة الفلور في الماء لتراكيز تمتد من 0.01 مليغرام في اللتر إلى حالة الإشباع.

ج) طريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

راجع فقرتي تحليل شوارد الكلوريد(7. 9. 1) وشوارد الفوسفات (7. 9. 3).

7. 11. 4 معايرة الزئبق:

آ) طريقة المعايرة:

يوجد الزئبق في المياه الطبيعية منحلا في صورة مركبات معدنية أو مركبات عضوية، كما أنه يوجد بشكله المعدني ملتصقا" بالأجسام المعلقة، ولذلك يجب إجراء عملية تمعدن لتحويل الزئبق المرتبط بمركبات عضوية إلى حالته المعدنية قبل إجراء عملية التحليل، ويجري ذلك باستعمال حمض الآزوت المركز.

تعتمد طريقة تحليل الزئبق على عملية استخلاص انتقائي بالكلوروفورم للزئبق المنحل في وسط حمضي (pH = 1.5)، ويعاير الزئبق المستخلص مباشرة بمحلول ثنائي نافتيل تيوكربازون (Di-Naphtylthiocarbazone).

1– الكواشف:

- ماء مقطر عالي النقاوة يستعمل في مراحل المعايرة جميعها.
- حمض الكبريت النقي.
- المحلول الأول: محلول مشبع من برمنغنات البوتاسيوم.
- المحلول الثاني: محلول مشبع من كلوروهيدرات الهيدروكسيلامين(NH_2OH,HCl).
- المحلول الثالث: محلول خلات الصوديوم (50 %).
- المحلول الرابع: محلول البولة (10%).
- المحلول الخامس: محلول حمض الحماض (10%).
- المحلول الأم من ثنائي – نافتيل تيوكربازون (0.1%) في رباعي كلور الكربون. يحفظ المحلول في الثلاجة ويمدد 35 مرة قبل الاستعمال مباشرة ويسمى المحلول السادس.
- المحلول الأم العياري للزئبق (500 مغ / لتر) ويحضر بإذابة 675 ميلي غراما" من كلور الزئبق في لتر من حمض كلور الماء تركيزه (5%).
- المحلول السابع: محلول عياري فرعي تركيزه (10 مغ / لتر) من الزئبق، ويحضر بتمديد عينة من المحلول الأم العياري السابق.

2 – طريقة العمل:

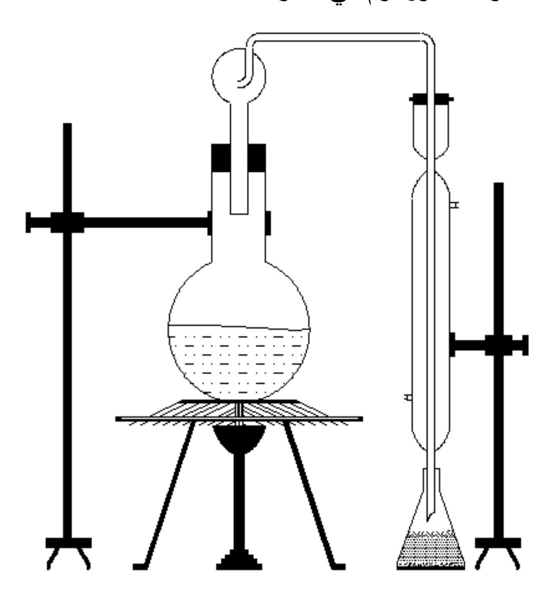
يوضع 10 ميلي من الماء المراد معايرته في جهاز كلدال (Kjeldahl) الصغير الحاوي على عدد من الكرات الزجاجية (الشكل 7 – 35)، ويضاف 1 مليلتر من حمض الكبريت، يسخن المزيج ويترك يغلي مدة دقائق, وتضاف كمية من المحلول الأول إلى أن يصبح اللون أسمر غامقا"، ويحدد الحجم المضاف، ويسخن المزيج حتى اختفاء اللون تماما"، ثم يضاف من جديد نقاط من المحلول الأول إلى أن يظهر لون البرمنغنات، ويبرد المحلول ويضاف إليه 1 مليلتر من المحلول الثاني، ويجب أن تجرى كافة عمليات الإضافة من فوهة المبرد المتصل بحوجلة كيلدال، ويكمل حجم الحوجلة إلى الثلثين بالماء المقطر مرتين.

يحضر محلول شاهد ضمن الشروط السابقة نفسها مع تعويض ماء العينة بالماء المقطر عالي النقاوة، يضاف إلى كل من الحوجلتين السابقتين (حوجلة العينة وحوجلة الشاهد) 2 مليلتر من المحلول الرابع، وكمية كافية من المحلول الثالث لإعطاء وسط حمضي (pH = 1.5)، ويضاف 3 مليلترات من المحلول الخامس لتثبيت حموضة الوسط، ويضاف إلى حوجلة العينة المائية 1

مليلتر من الكلوروفورم، وكمية من المحلول السادس حتى ظهور طبقة عضوية بلون ليلكي – خبزي، الذي يعني أن الزئبق قد جرت معايرته وأن هناك كمية زائدة من الكاشف أعطت ذلك اللون، ويضاف إلى حوجلة المحلول الشاهد الحجم نفسه الذي أضيف من المحلول السادس، وتعاير تلك الكمية بالمحلول السابع إلى أن يتحول لون المحلول الشاهد معطيا" لون العينة نفسه، فإذا كان الحجم المضاف من محلول الزئبق (المحلول السابع) هو (V) فسوف يكون تركيز الزئبق الكلي في العينة مساويا":

$$C = 1000 \times V$$

حيث C تركيز الزئبق مقدرا بالمكروغرام في اللتر.



الشكل 7 – 35: جهاز كلدال (Kjeldahl)

ب) طريقة جهاز الامتصاص الذري:

تستعمل هذه الطريقة لقياس تركيز الزئبق في مياه الشرب والمياه السطحية، وتجري على مرحلتين ، ففي المرحلة الأولى يؤكسد كل الزئبق في العينة المائية إلى حالة التكافؤ الثنائي بوساطة مزيج من المؤكسدات القوية ($K_2S_2O_8$, $KMNO_4$, $K_2Cr_2O_7$, HNO_3)، ويجري قياس شوارد الزئبق ثنائية التكافؤ في المرحلة الثانية باستعمال جهاز الامتصاص الذري المزود بمصباح خاص وعند طول الموجة 253.7 نانومترا"، علما" أن الحد الأدنى المقاس بهذه الطريقة نحو 0.12 ميكروغراما" / لتر من الزئبق.

7. 11. 5 معايرة الرصاص:

آ) الطريقة اللونية:

يعاير الرصاص بالطريقة اللونية بعد استخلاصه من الماء في صيغة ثنائي التيوزونات (Dithizonate) ذات اللون الأحمر والتي يمكن قياس امتصاصيتها بالجهاز الطيفي.

1 – الكواشف:

يجب أن تكون جميع الكواشف المحضرة خالية من الرصاص ومحفوظة في زجاجات مغلقة جيدا" مع استعمال ماء نقي جدا" (ماء ثنائي التقطير أو مرشح على الأغشية الدقيقة جدا").

- حمض كبريت مركز خالٍ من الرصاص.
- حمض كلور الماء المركز.
- هيدروكسيد الأمونيوم المركزة.

يجري تقطير الحموض السابقة وهيدروكسد الأمونيوم باستعمال جهاز من الكوارتز للتخلص من الرصاص.

- محلول الديتيزون (Dithizone) في الكلوروفورم (60 مغ / لتر):

يحضر المحلول بإذابة 60 ميلي غراما" من الديتيزون في 300 مليلتر من الكلوروفورم ضمن قمع فصل سعته لتران، ويضاف إلى المحلول السابق 500 مليلتر من محلول هيدروكسيد الأمونيوم (0.5%)، ثم يضاف محلول هيدروكسيد الأمونيوم (14%) قطرة فقطرة حتى ظهور اللون الأصفر، وتزال الطبقة العضوية (الكلوروفورم)، وتغسل الطبقة المائية الحاوية على الديتيزون بالكلوروفورم إلى أن يصبح سائل الغسيل (الكلوروفورم) غير ملون، ويضاف إلى الطبقة المائية حمض كلور الماء، ويستخلص معقد ثنائي التيوزونات منها بوساطة الكلوروفورم في وسط حمضي، وترشح الطبقة العضوية على ورق ترشيح لإزالة المواد المعلقة، ويكمل الحجم إلى اللتر بالكلوروفورم النقي، ويحفظ هذا المحلول في جو بارد وعاتم.

- حمض الآزوت (1%).
- محلول سيترات الأمونيوم (25%).
- محلول خلات الأمونيوم (25%).
- محلول كبريت الصوديوم (1%).
- محلول نملات الأمونيوم (20%).

تجري معالجة المحاليل الخمسة أعلاه بمحلول الديتيزون في الكلوروفورم (60 مغ / لتر) لاستخلاص المعادن الثقيلة منها.

- محلول سيانور البوتاسيوم (2%).
- محلول الأمونيوم السيانيدي الكبريتي: يحضر المحلول بمزج 5 أحجام من هيدروكسيد الأمونيوم مع حجم واحد من محلول كبريتيت الصوديوم (1%) وحجم واحد من سيانور البوتاسيوم (2%).
- محلول كلور هيدرات الهيدروكسيلامين ($NH_2OH.\ HCl$) بتركيز (20%): يحضر المحلول بإذابة 20 غراما" من كلورهيدرات الهيدروكسيلامين في 50 مليلترا" ماءً مقطرا"، ويضاف إليه بعض القطرات من محلول ميتا كريزول (1 غ/لتر)، ثم هيدروكسيد الأمونيوم إلى أن يتحول اللون ويصبح أرجوانيا"، وتستخلص المعادن الثقيلة باستعمال الديتيزون المنحل في الكلوروفورم، ويضاف إلى المحلول بعد عملية الاستخلاص عدة قطرات من حمض كلور الماء المركز إلى أن يتحول اللون ويصبح أصفر، يكمل الحجم إلى 100 مليلتر بالماء المقطر.
- محلول الرصاص العياري الأم (0.5 غ / لتر): يذاب في 100 مليلتر من حمض الآزوت النقي 500 مليغرام من الرصاص النقي الخالي من الفضة، يكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.
- محلول الرصاص العياري (5 مغ / لتر) يحضر من تمديد المحلول الأم مئة مرة.

2 – المنحني البياني العياري:

يحضر سلسلة من أقماع الفصل سعة الواحد منها 150 مليلترا" ويوضع فيها على التوالي الكميات الواردة في الجدول (7 – 33).

تخض المحاليل مدة دقيقة، ويترك ليرقد مدة ساعة، وتقاس امتصاصية تلك المحاليل عند طول الموجة (510 نانو مترات) باستعمال الجهاز الطيفي، ويرسم المنحني البياني العياري.

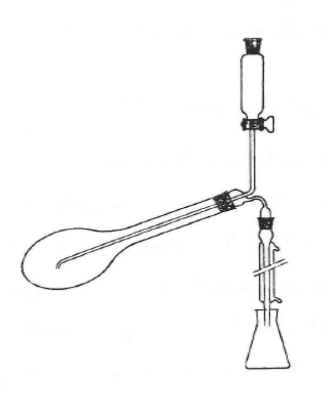
الجدول 7 – 33: محاليل المنحني البياني العياري.

	رقم قمع الفصل / الوحدة	0	1	2	3	4	5	6
حمض الآزوت(1 %)	مل	10	10	10	10	10	10	10
محلول الرصاص (5 مغ / لتر)	مل	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
محلول الأمونيوم السيانيدي الكبريتي	مل	30	30	30	30	30	30	30
محلول الديتيزون (20 مغ / لتر)	مل	10	10	10	10	10	10	10
كمية الرصاص	ميكروغرام	0	2.5	5	7.5	10	12.5	15

3– قياس تركيز الرصاص في العينة المائية:

التمعدن:

تجرى عملية التمعدن على العينة المائية قبل معايرتها ويحدث ذلك باستعمال الجهاز الموضح في الشكل(7 – 36).



الشكل 7 – 36: جهاز التمعدن.

يضاف 5 مليلترات من حمض الكبريت المركز و 10 مليلترات من حمض الآزوت المركز إلى 100 مليلتر من ماء العينة المائية في حوجلة من الكوارتز، ويسخن المزيج إلى أن يظهر دخان

أبيض، وإذا كان حمض الكبريت المتبقي في أسفل الحوجلة مازال ملونا"، تضاف كمية أخرى من حمض الآزوت حتى زوال ذلك اللون، ويسخن المزيج من جديد حتى ظهور الدخان الأبيض مرة ثانية، وبعد تبريد المحلول، يضاف إليه 10 مليلتر من الماء المقطر ويسخن الناتج حتى ظهور الدخان الأبيض، وتعاد العملية الأخيرة ثلاث مرات.

يضاف للمزيج السابق 10 مليلترات من محلول سيترات الأمونيوم و 10 مليلتر من محلول خلات الأمونيوم ويسخن حتى الغليان. ويبرد الناتج وينقل محتوى الحوجلة إلى قارورة سعتها 100 مليلتر، مع غسل الحوجلة بمحلول الأمونيوم المركزة (30 مليلترا") وإضافة ماء الغسيل إلى القارورة، ويضاف هيدروكسيد الأمونيوم إلى أن يصبح الوسط قلوي (pH = 9)، ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر باستعمال الماء المقطر.

استخلاص الرصاص:

يؤخذ من المحلول المحضر أعلاه، حجما" يحتوي على كمية تقديرية من الرصاص تتراوح بين 2 إلى 15 ميكروغراما"، ويضاف إليه 5 قطرات من محلول كلورهيدرات الهيدروكسيلامين و 8 مليلترات من محلول سيانور البوتاسيوم و 5 مليلترات من محلول الديتيزون (60 مغ / لتر)، ويرج قمع الفصل مدة دقيقة قبل فصل طبقة الكلوروفورم (يكون لون الطبقة أخضر أو أحمر تبعا" لتركيز الرصاص في العينة)، وتستمر عملية استخلاص المعقد الرصاصي باستعمال الكلوروفورم (2 مليلترا" في كل مرة) إلى أن يتحول لون الطبقة العضوية المستخلصة إلى الأخضر، وتجمع كميات الكلوروفورم الحاوية على المعقد الرصاصي ضمن قمع فصل جديد ويضاف إليها 10 مليلترات من الماء المقطر لإزالة الأمونيا المنحلة في الكلوروفورم، وتعاد تلك العملية عدة مرات قبل معالجة طبقة الكلوروفورم بعشرة مليلترات من حمض الآزوت (1%)، حيث يجري انتقال الرصاص من الوسط العضوي إلى الوسط المائي ويظهر اللون الأخضر في طبقة الكلوروفورم، يجري التخلص من الكلوروفورم، ويضاف للطبقة المائية 30 مليلترا" من محلول الأمونيوم السيانيدي الكبريتي و 20 مليلترا" من محلول الديتيزون (20 مغ / لتر)، بعد مزج المحلول السابق مدة دقيقة، يترك ليرقد لمدة ساعة كاملة قبل إجراء عملية قياس الامتصاصية عند طول الموجة (510 نانومترات)، وتقارن النتيجة مع المنحني البياني العياري لمعرفة كمية الرصاص الموجودة في العينة ثم حساب التركيز.

4- ملاحظات :

- الحد الأدنى لكمية الرصاص الممكن قياسها بهذه الطريقة هي 2 ميكروغرام.
- يتدخل عنصر البزموت في عملية المعايرة، ولذلك يجب إزالته قبل إجراء المعايرة، ويجري ذلك بإضافة 0.6 مليلترات من محلول نملات الأمونيوم إلى الطبقة المائية المحمضة بحمض الآزوت، ثم يضاف 1 مليلتر من الديتيزون، إن عنصر البزموت يعطي لونا" بنفسجيا أو ورديا للديتيزون، تزال الطبقة العضوية وتعاد العملية عدة مرات.

ب) طريقة المسرى النوعي:

يقاس تركيز الرصاص بالماء باستعمال مسرى نوعي لشاردة الرصاص وضمن مجال من التركيز يمتد من 0.2 مليغراما" في اللتر إلى 30 غراما" في اللتر.

7. 11. 6 معايرة الزرنيخ Arsenic:

آ) طريقة كريبير (CRIBER):

تعتمد الطريقة على إرجاع المركبات الأكسجينية للزرنيخ إلى مركب هيدروجين الزرنيخ (Hydrure d`Arsenic) باستعمال الهيدروجين المولد في وسط حمضي، ويمرر مركب هيدروجين الزرنيخ على ورقة مشبعة بمحلول كلور الزئبق فيلونها، ويثبت اللون بغمس الورقة في محلول يود البوتاسيوم ويقارن اللون الناتج مع سلم عياري للألوان محضر سابقا".

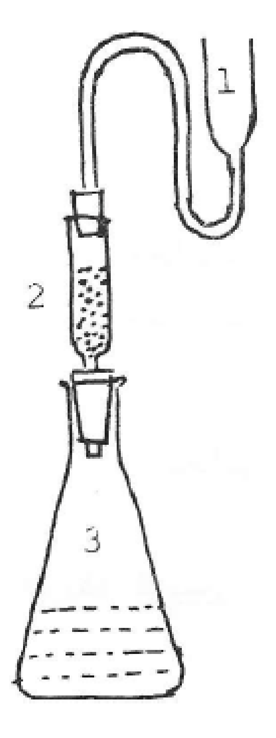
ب) الطريقة اللونية :

1 – مبدأ الطريقة:

ترجع مركبات الزرنيخ اللاعضوية إلى هيدروجين الزرنيخ بوساطة الهيدروجين المولد في وسط حمضي، ثم يتفاعل هيدروجين الزرنيخ مع ثنائي إتيل ثنائي تيوكربامات الفضة معطيا مركبا" ملونا" (أحمر) قابلا" للقياس بالطريقة اللونية.

2 – الجهاز المستعمل:

يوضح الشكل (7 – 37) الجهاز المستعمل لعملية الإرجاع.



1– أنبوب الغرغرة، 2– أنبوب التنقية، 3– حوجلة الإرجاع

الشكل 7 – 37: جهاز إرجاع المركبات الزرنيخية.

3– الكواشف :

- زنك.
- حمض كلور الماء المركز.
- المحلول الأول: محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.1 نظامي).
- المحلول الثاني: محلول يود البوتاسيوم (150 غ / لتر).
- المحلول الثالث: محلول خلات الرصاص (100 غ / لتر).
- المحلول الرابع: محلول ثنائي إتيل تيوكربامات الفضة (Diethyldithiocarbamate d'Argent)، ويحضر بإذابة 1 غرام من الكاشف في 200 مليلتر من البيريدين (Pyridine).
- المحلول الخامس: محلول كلوريد القصدير، ويحضر بإذابة 40 غراما" من ($SnCl_2$, 2 H_2O) في 100 مليلتر من حمض كلور الماء المركز.
- المحلول السادس: محلول عياري من الزرنيخ (0.1 غ / لتر)، ويحضر المحلول بإذابة 0.132 غراما" من (As_2O_3) في 5 مليلترات من محلول هيدروكسيد الصوديوم (200

غ / لتر) ثم يضاف 100 مليلتر ماء" مقطرا" ويعادل المحلول باستعمال حمض الكبريت الممدد إلى أن يصبح الوسط معتدلا" (pH = 7)، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.

- المحلول السابع: تمدد كمية من المحلول السادس للحصول على محلول تركيزه (1 مغ / لتر).
- محلول كحولي للفينول فتالين (1 غ / لتر).

4 – المنحني العياري:

تحضر محاليل مختلفة التركيز (من الصفر إلى 25 ميكروغراما" من الزرنيخ ضمن 35 مليلترا" ماء" مقطرا")، وتوضع العينة ضمن حوجلة الإرجاع، ويضاف إليها 2 مليلترا" حمض كلور الماء المركز و2 مليلترا" من المحلول الثاني و 8 مليلترات من المحلول الخامس، وبعد 15 دقيقة يُملأ أنبوب التنقية بالقطن الزجاجي المشبع بخلات الرصاص والمجفف، ويوضع 5 مليلترات من المحلول الرابع في أنبوب القرقرة (الشكل 7 – 37). بعد ضبط الجهاز تماما" يضاف 3 غرامات من الزنك إلى حوجلة الإرجاع وتغلق فورا"، يترك تفاعل انطلاق الهيدروجين مدة ساعتين، حيث يتفاعل مع الزرنيخ مكونا" هيدروجين الزرنيخ، والذي ينطلق لينحل في محلول ثنائي إتيل تيوكربامات الفضة معطيا" لونا" أحمر يجري قياس امتصاصيته عند طول الموجة (535 نانو مترا")، ويحدد المنحني البياني العياري بتكرار العملية السابقة على عدد من العينات مختلفة التركيز المحضرة سابقا".

5 – قياس تركيز الزرنيخ في العينة المجهولة:

تجري عملية المعايرة عادة على 35 مليلترا" من العينة المائية، أما في حالة كون تركيز الزرنيخ في العينة المائية أقل من الحد الأدنى لطريقة التحليل (أقل من 1 ميكروغرام / لتر)، فتجرى عملية تركيز للعينة المائية قبل الاختبار مباشرة.

يصب الماء المراد معايرته في حوجلة الإرجاع، ويضاف إليه 5 مليلترات من حمض كلور الماء و 2 مليلترا" من المحلول الثاني و 8 مليلترات من المحلول الخامس، وتتبع الخطوات الواردة في الفقرة أعلاه نفسها، وتقارن نتيجة الامتصاص مع المنحني العياري ويحسب التركيز في العينة المجهولة.

ج) طريقة الامتصاص الذري:

هناك طريقتان لقياس تركيز الزرنيخ:

– تعتمد الطريقة الأولى على قياس الامتصاص الذري بعد إجراء عملية إرجاع لمركبات الزرنيخ، حيث ترجع إلى هيدروجين الزرنيخ (AsH_3) باستعمال بوروهيدريد الصوديوم، ويقاد الغاز المتكون بوساطة غاز حامل إما إلى شعلة جهاز الامتصاص الذري المؤلفة من الهيدروجين والأرغون أو إلى جهاز الامتصاص الذري المجهز بفرن رذاذ.

– طريقة الفرن الرذاذ من دون شعلة: يحقن الفرن الرذاذ بمحلول الزرنيخ حيث تتم عملية نزع الماء ومن ثم عملية تكليس له، وبذلك يتفكك ملح الزرنيخ معطيا" ذرات الزرنيخ.

7. 11. 7 معايرة السيانيد الكلي – CN:

1 – تحضير العينة المائية لمعايرة السيانيد الكلي:

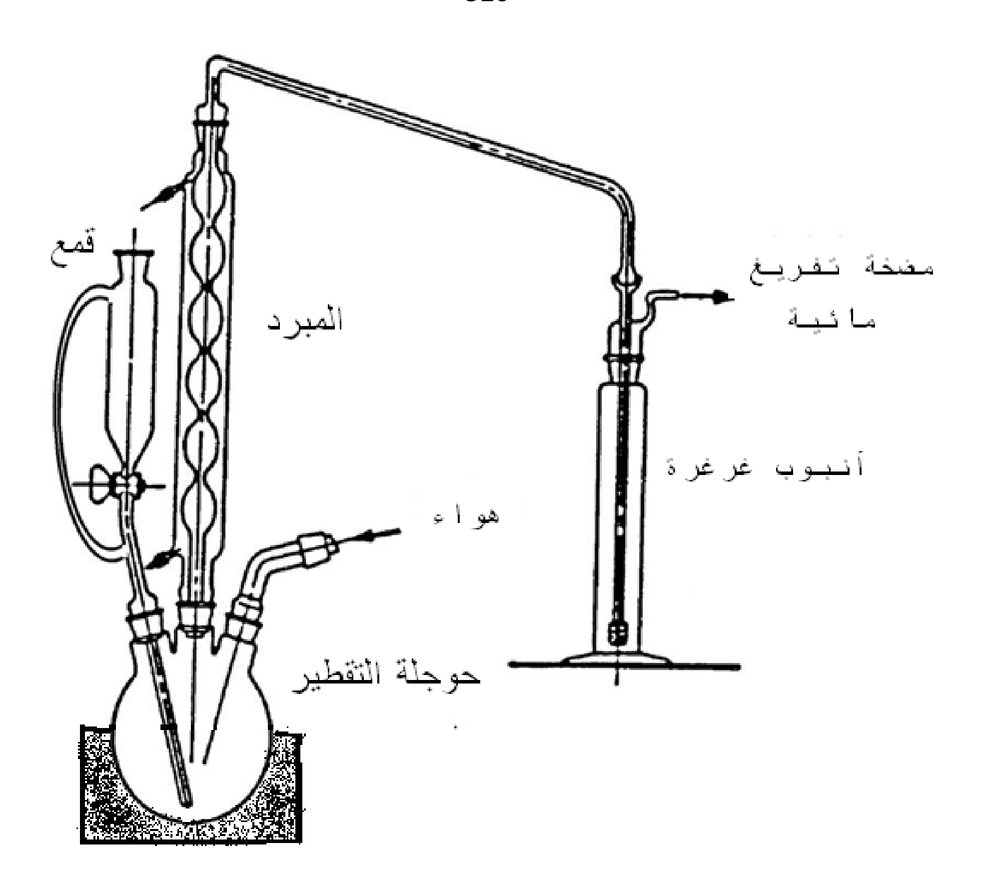
يوجد السيانيد بصيغة حمض السيانيد بنسبة ضئيلة في مياه الصرف، بينما النسبة الأكبر توجد بصيغة معقدات معدنية، لذلك تعالج العينة المائية قبل إجراء المعايرة للحصول على السيانيد الكلي في العينة.

تتفكك معقدات السيانيد بالحرارة بوجود كبريتات النحاس أو كلور القصدير في وسط حمضي (حمض الكبريت) معطية حمض السيانيد الذي يمكن حمله ضمن تيار هوائي إلى مصيدة تحتوي محلول هيدروكسيد الصوديوم، ثم تعاير شاردة السيانيد المنحلة في المحلول.

– **تجهيزات:** جهاز تقطير كما هو وارد في الشكل (7 – 38).

– **الكواشف الكيميائية:**

- محلول كبريتات النحاس (محضر بإذابة 200 غرام من $CuSO_4,5H_2O$ في لتر ماء).
- محلول كلور القصدير (محضر بإذابة 500 غرام من $SnCl_2,2H_2O$ في 400 مل من حمض كلور الماء النظامي، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر).
- حمض الكبريت المركز (50% حجما").
- محلول هيدروكسيد الصوديوم النظامي.



الشكل 7 – 38: جهاز التقطير.

- **طريقة العمل:**

يوضع في أنبوب الغرغرة 25 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم النظامي، ويوضع في حوجلة التقطير الظاهرة في الشكل(7 – 38) على التوالي:

- 30 مل من الماء المقطر.
- 10 مل من محلول كبريتات النحاس.
- 2 مل محلول كلور القصدير.
- 250 مل من العينة المائية المراد تحليلها.
- 100 مل من الماء المقطر.

يمرر الماء على المبرد، ويدخل تيار هوائي، وتشغل مضخة التخلية لتؤمن تخلية جزئية وثابتة، ثم يضاف من خلال القمع المزود بصمام 25 مل من حمض الكبريت. تسخن الحوجلة بسرعة

بحيث تصل إلى درجة الغليان خلال 5 دقائق، وتترك في درجة الغليان لمدة ساعة، ثم تبرد وتترك لمدة ساعة أخرى تحت التخلية الجزئية. توقف مضخة التخلية ويفرغ محتوى أنبوب الغرغرة في كأس حجمه 250 مل ويغسل أنبوب الغرغرة بمحلول هيدروكسيد الصوديوم، ويضاف محلول الغسيل إلى الكأس، ويكمل الحجم إلى 250 مل بالماء المقطر.

تطبق هذه الطريقة على العينات المائية المتمتعة بتركيز أعلى من 0.01 مغ/ لتر من شاردة السيانيد.

2 – طرائق معايرة السيانيد:

أ) طريقة المعايرة الحجمية:

تكّون شوارد الفضة مع السيانيد راسب سيانيد الفضة. وتجرى المعايرة بوجود مشعر يتحول لونه من الأصفر إلى الوردي عند حدوث فائض من شوارد الفضة.

الكواشف الكيميائية:

- محلول من نترات الفضة (0.1 نظامي): 1 مل من هذا المحلول يطابق 5.2 مغ من شوارد السيانيد(CN^-) عند المعايرة.
- محلول من المشعر P- Diméthylaminobenzolrhodamine (0.02 % في الأسيتون).

طريقة المعايرة:

يضاف 0.5 مل من محلول المشعر إلى عينة السيانيد المعالجة (حجمها 250 مل) وتعاير العينة بمحلول نترات الفضة حتى نقطة التحول من اللون الأصفر إلى الوردي، وتعاير عينة شاهد من الماء المقطر المضاف إليه هيدروكسيد الصوديوم والمشعر.

يعطى تركيز شاردة السيانيد في العينة المائية بالعلاقة الآتية:

$$CN^- \text{ mg/l} = 1000 \times 5.2 (A - B) /250$$

A : حجم نترات الفضة اللازمة لمعايرة العينة.

B : حجم نترات الفضة اللازمة لمعايرة المحلول الشاهد .

ب) معايرة السيانيد بطريقة المسرى النوعي:

يعدّ السيانيد الحر المادة الأكثر سمية للوسط المائي مقارنة مع مركبات السيانيد الآخرى، ولكن وجوده بصيغة حرة متعلق بعوامل عديدة، منها قيمة دليل الهيدروجين للوسط المائي ودرجة الحرارة ونوعية أملاح السيانيد. ويمكن معايرة السيانيد الحر ضمن العينة مباشرة في المياه الطبيعية بطريقة المسرى النوعي، ولكنها لاتطبق على مياه الصرف إلا بعد معالجة العينة. وتصلح هذه الطريقة للتراكيز المحصورة بين 0.26 إلى 26 مليغرام في اللتر من شاردة السيانيد.

- **التجهيزات اللازمة:**

مسرى نوعي لشاردة السيانيد مع جهاز القياس.

- **الكواشف الكيميائية:**

• هيدروكسيد الصوديوم 0.1 نظامي.

• هيدروكسيد الصوديوم 1 نظامي.

• محلول عياري لشاردة السيانيد تركيزه 2.5 غرام / لتر ويحضر بإذابة 6.25 غرام من سيانيد البوتاسيوم في لتر ماء مقطر ، ويستعمل هذا المحلول لمدة ثمانية أيام فقط.

• محلول عياري تركيزه 25 مغ / لتر، ويحضر بوضع 1 مل من المحلول العياري السابق في 100 من محلول هيدروكسيد الصوديوم (0.1 نظامي)، ويمكن حفظه لمدة 24 ساعة فقط.

• محاليل عيارية أقل تركيزا"، وتحضر بتمديد المحلول العياري السابق(25 مغ/لتر) بمحلول هيدروكسيد الصوديوم (0.1 نظامي).

- **المنحني البياني العياري:**

يؤخذ 250 مل من كل محلول عياري، ويضاف إليه 25 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم النظامي، وتقاس الناقلية لكل منها، ويرسم المنحني البياني العياري.

- **معايرة العينة المائية:**

تقاس ناقلية العينة المعالجة وتقارن النتيجة بالمنحني البياني العياري للحصول على تركيزها.

ملاحظات:

- يجب أن تكون العينة خالية من شوارد الكبريت.
- تؤثر شاردة اليود على القياس إذا كان تركيزها يعادل 10% من تركيز شاردة السيانيد.

ج) معايرة السيانيد الكلي بطريقة الكروماتوغرافيا الشاردية:

تؤكسد شاردة السيانيد CN^- في وسط قلوي إلى شاردة السيانات CNO^- بالكلور النشيط (هبوكلوريت الصوديوم)، ثم تحلل شاردة السيانات باستعمال الكروماتوغرافيا الشاردية.

- **تحضير العينات العيارية:**

• يحضر محلول من شاردة السيانيد تركيزها 100 مليغرام / لتر، بإذابة ملح KCN في محلول هيدروكسيد الصوديوم النظامي.

• تحضر عدد من المحاليل العيارية بتراكيز ضمن المجال الممتد من 0.2 مليغرام / لتر إلى 12 مليغرام / لتر من شاردة السيانيد، وهذا المجال يعطي علاقة خطية بين التركيز والناقلية.

• يضاف 50 ميكروغرام من هبوكلوريت الصوديوم(0.35% كلور فعال) إلى 5 مليلتر من كل محلول عياري، حيث تتأكسد شاردة السيانيد وتتحول إلى السيانات CNO^- التي تحلل بالكروماتوغرافيا الشاردية.

يمكن استعمال ملح سيانات البوتاسيوم (KCNO) مباشرة لتحضير المحاليل العيارية.

- **التجهيزات اللازمة:**

• جهاز كروماتوغرافي شاردي.

• عمود أولي (AG 14) أو أي عمود أولي آخر مناسب.

• عمود الفصل (AS14) أو أي عمود فصل قادر على تحليل الشاردة CNO^-.

• وحدة إزالة الشوارد المشوشة (AMMS).

• حجرة حقن 50 ميكروغرام.

• مقياس الناقلية الكهربائية.

• الطور المتحرك: مزيج يحتوي $NaHCO_3$ (1 ميلي مول / لتر) مع Na_2CO_3 (3.5 ملي مول / لتر)، بتدفق قدره 1.2 لتر/ دقيقة.

• محلول تجديد وحدة إزالة الشوارد المشوشة H_2SO_4 تركيزه 25 ميلي مول / لتر، وبتدفق قدره 4 ميلي لتر في الدقيقة.

- **المنحني البياني العياري:**

تحقن عينات المحاليل العيارية في الجهاز، ويرسم المنحني البياني العياري للتركيز بدلالة الناقلية، أو تخزن في ذاكرة الجهاز.

- **معايرة العينة:**

يؤخذ 5 مليلي لتر من العينة المعالجة ويضاف إليها 50 ميكرو لتر من محلول هبو كلوريت الصوديوم (0.35% كلور فعال). بعد التحريك تحقن العينة في جهاز الكروماتوغرافيا الشاردية (خلال ساعتين على الأكثر)، وتقارن نتيجة التحليل مع المنحني البياني العياري ويحدد تركيزها.

7. 12 معايرة بعض الملوثات العضوية الدقيقة المنحلة في المياه السطحية:

إن المصادر الأساسية للملوثات العضوية الدقيقة المنحلة في المياه السطحية متنوعة، ومختلفة في تركيبها وتأثيرها، ولذلك فإن طرائق التحليل معقدة وطويلة وتحتاج في أكثر الأحيان إلى أجهزة خاصة.

7. 12. 1 المواد القابلة للاستخلاص بمحل عضوي:

تجري عملية استخلاص المركبات العضوية المنحلة في العينة المائية باستعمال الكلوروفورم مباشرة، أو بعد إجراء عملية امتزاز لها على عمود من الفحم المنشط، ثم يجري استخلاص المركبات الممتزة بوساطة الكلوروفورم. وفي كلا الحالتين يبخر المحل العضوي بعد عملية الاستخلاص ويوزن الراسب الباقي.

7. 12. 2 معايرة الفحوم الهيدروجينية في الماء:

تعاير الفحوم الهيدروجينية الموجودة في الوسط المائي بطريقة الجهاز الطيفي للأشعة تحت الحمراء، ويجري استخلاص الفحوم الهيدروجينية من الوسط المائي باستعمال محل عضوي هو رباعي كلور الكربون، ثم تعاير العينة المستخلصة بقياس امتصاصيتها في الجهاز الطيفي

للأشعة تحت الحمراء عند طول الموجة (3.42 ميكرونات)، وهي الموافقة للامتصاص الأعظمي للمجموعة (- CH_2 -).

1- الكواشف :

- رباعي كلور الكربون.
- كلور الصوديوم.
- حمض كلور الماء النظامي.
- كبريتات الصوديوم اللامائية.
- مسحوق سيليكات المغنزيوم المعروفة باسمها التجاري فلوريسيل.
- محلول عياري من الفحوم الهيدروجينية، ويحضر كالآتي: يمزج 3.75 غرامات من إيزوأوكتان مع 3.75 غرامات من هيكساديكان و 2.5 غراما" من البنزن، ويؤخذ من المزيج السابق 0.5 غرام ويحل في لتر من رباعي كلور الكربون.

2 – المنحني البياني العياري:

يوضع في خمس زجاجات عياريه مرقمة الكميات الآتية من المحلول العياري للفحوم الهيدروجينية: صفر، 10، 20، 60، 100 مليلتر ويكمل الحجم إلى 100 مليلتر برابع كلور الكربون.

تقاس امتصاصية كل من المحاليل السابقة عند طول الموجة (3.42 ميكرونات) باستعمال الجهاز الطيفي للأشعة تحت الحمراء. وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز للحصول على المنحني البياني العياري.

3- معايرة الفحوم الهيدروجينية في العينات المائية:

يضاف حمض كلور الماء النظامي إلى لتر من الماء المراد معايرته إلى أن يصبح الوسط حمضيا" (H = 5)، ويضاف بعد ذلك 5 غرامات من كلور الصوديوم و50 مليلترا" من رباعي كلور الكربون، وبعد إجراء مزج سريع مدة عشر دقائق، يترك المزيج ليرقد، ينقل المزيج إلى قمع فصل، ثم تفصل الطبقة العضوية، وترشح على 1 غرام من كبريتات الصوديوم لإزالة الماء في الطبقة العضوية، وتمرر الطبقة العضوية على 5 غرامات من فلوريسيل الموضوعة ضمن عمود قطره 1 سم، وتغسل طبقة الفلوريسيل بقليل من رباعي كلور الكربون، وتضاف تلك الكمية إلى الطبقة العضوية، وتقاس امتصاصية الطبقة العضوية عند طول الموجة (3.42 ميكرونات).

ملاحظة: يجري التحكم في حجم العينة المائية تبعا لتركيز الفحوم الهيدروجينية.

7. 12. 3 معايرة الزيوت والشحوم في الماء:

تكون الزيوت والشحوم في الماء في صورة مستحلب أو مصبَّن (Saponifiés) نتيجة وجود المواد المنظفة في المياه السطحية.

تعاير الزيوت والشحوم بالطريقة الوزنية، بعد إجراء عملية استخلاص لها من الوسط المائي باستعمال محل عضوي هو ثلاثي كلور الإتيلين، ويؤخذ عينة مائية حجمها بين 1.3 إلى لترين، ويضاف إليها حمض كلور الماء ليصبح الوسط حمضيا"(pH = 5)، بهدف حلمهة الصابون وتفكيك المستحلب الناتج وتحرير الزيوت والشحوم، ويضاف إلى العينة 100 مليلتر من المحل العضوي ويرج المزيج جيدا"، تفصل الطبقة العضوية عن الوسط المائي ويحتفظ بها، وتجرى عملية استخلاص ثانية على الطبقة المائية باستعمال 100 مليلتر من المحل العضوي، ثم تكرر عملية الاستخلاص باستعمال 50 مليلترا" من المحل العضوي، وتجمع الأجزاء الثلاثة للطبقة العضوية وتبخر في الدرجة 70^{o} م في البداية، ثم تحت الفراغ لتفادي حدوث تحطم للسلاسل الهيدروكربونية في الزيوت، ويجفف الراسب الناتج ويوزن، ويحسب تركيز الشحوم والزيوت في العينة استنادا" إلى حجم العينة الأساسي.

7. 12. 4 معايرة المركبات الفينولية:

تجرى عملية معايرة الفينول في العينة المائية خلال ست ساعات من لحظة أخذ العينة، لأن الفينول الموجود بتراكيز خفيفة يتحلل بسرعة، وفي حالة عدم وجود الإمكانية للتحليل السريع، يضاف للعينة 1 غرام من كبريتات النحاس وتحمض بحمض الفُسفور(pH = 4) وتحفظ عند الدرجة 4^{o} م لمدة 24 ساعة.

1 – مبدأ الطريقة:

تجرى عملية استخلاص بالتقطير للعينة، ثم تتفاعل الفينولات مع مركب أمينو – 4 – أنتيبيرين (Amino – 4 – Antipyrine) في وسط قاعدي (pH = 9. 1)، ويكوّن المركب الناتج مع فيروسيانور البوتاسيوم معقدا" ملونا" قابلا" للاستخلاص بالكلوروفورم، وتقاس امتصاصية المعقد العضوي الناتج باستعمال الطريقة الطيفية اللونية.

2 – الكواشف:

- ماء مقطر خال من الفينول والكلور.

- محلول موقي (pH = 9. 5): يحضر المحلول الموقي بإذابة 34 غراما" من كلوريد الأمونيوم و200 غرام من طرطرات ثنائية للصوديوم والبوتاسيوم في 500 مليلتر ماءً مقطرا"، يضاف إلى المحلول السابق 15 مليلترا" من هيدروكسيد الأمونيوم، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر، وتضبط قيمة قاعدية الوسط (pH = 9. 5) بوساطة هيدروكسيد الأمونيوم.
- محلول أمينو – 4 – أنتيبيرين: 20 غ / لتر (ماء" مقطرا").
- محلول فيروسيانور البوتاسيوم (2% وزنا).
- كلوريد الصوديوم.
- كلوروفورم.
- محلول الفينول العياري (5 مغ / لتر).
- محلول الفينول العياري (1 مغ / لتر).
- قطن زجاجي معالج بالهكسان لإزالة المواد الدسمة الملتصقة به ثم تجرى معالجته بمحلول السيلفوكروميك.

3 – التقطير:

يوضع 500 مليلتر من ماء العينة المراد معايرتها في دورق التقطير، ويضاف إليها 50 غراما" من كلوريد الصوديوم، وتجرى عملية التقطير بسرعة 5 إلى 10 مليلترات في الدقيقة، مع إضافة ماء مقطر في الدورق لتعويض النقص والمحافظة على مستوى ثابت تقريبا داخل دورق التقطير، وتوقف عملية التقطير عند الحصول على 500 مليلتر من القطارة.
بعد إجراء التقطير يمكن اتباع إحدى الطريقتين الآتيتين تبعا" لتركيز الفينول في العينة:

آ) طريقة مباشرة دون استخلاص مخصصة للتراكيز الأعلى من (0.5 مغ / لتر).

تستعمل سبع كؤوس مرقمة لتحضير محاليل عياريه من الفينول، حيث يوضع فيها وعلى الترتيب: صفر، 10، 20، 40، 60، 80، 100 مليلتر من محلول الفينول العياري (5 مغ/ لتر)، ويكمل حجم كل منها إلى 100 مليلتر بالماء المقطر. يضاف بعد ذلك إلى كل عينة 5 مليلترات من المحلول الموقي و 1 مليلتر من محلول أمينو – 4 – أنتيبيرين و 2 مليلتر من محلول فيروسيانور البوتاسيوم، وتعطي المحاليل السابقة التراكيز الآتية: (صفر – 0.5 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 مغ / لتر) . تترك المحاليل المحضرة مدة خمس دقائق قبل قياس الامتصاصية عند طول الموجة (510 نانو مترات)، وترسم الامتصاصية بدلالة التركيز للحصول على المنحني البياني العياري.

تعامل 100 مليلتر من القطارة المستحصل عليها سابقا للعينة المائية معاملة العينة العيارية، وتقارن قيم الامتصاصية لها مع المنحني العياري لتحديد تركيزها.

ب) طريقة استخلاص المركب المعقد بمحل عضوي:

تخصص هذه الطريقة للعينات الحاوية تراكيز محصورة بين 25 و 500 ميكروغرام من الفينول في اللتر.

يحضر في سبعة أقماع فصل سعة الواحد منها 500 مليلتر المحاليل الواردة في الجدول (7 – 34).

يضاف إلى كل من المحاليل الواردة في الجدول 5 مليلترات من الكلوروفورم ويمزج المحتوى جيدا" ثم يرقد وتفصل طبقة الكلوروفورم عن الطبقة المائية، وتمرر الطبقة العضوية خلال فصلها على القطن الزجاجي المعالج، وتكرر عملية الاستخلاص مرة ثانية باستعمال 3 مليلترات من الكلوروفورم بالطريقة نفسها، ثم تكرر مرة ثالثة باستعمال 2 مليلترا" من الكلوروفورم. وتجمع الأجزاء الثلاثة من الطبقة العضوية ويكمل حجمها إلى 10 مليلترات بالكلوروفورم، تقاس امتصاصية كل منها باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (460 نانو مترا").

يضاف 10 مليلترات من المحلول الموقي إلى 200 مليلترا" من القطارة المستحصل عليها سابقا"، وتتابع المراحل نفسها التي أجريت على العينات العيارية، وتقارن نتيجة قياس الامتصاصية مع المنحني البياني العياري لمعرفة تركيز العينة المائية.

الجدول 7 – 34: تحضير محاليل عياريه من الفينول.

	رقم القمع / الوحدة	0	1	2	3	4	5	6
محلول فينول عياري (1 مغ / لتر)	مل	0	5	10	20	30	40	50
ماء مقطر	مل	200	195	190	180	170	160	150
محلول موقي	مل	10	10	10	10	10	10	10
محلول أمينوأنتيبيرين	مل	2	2	2	2	2	2	2
محلول فيروسيانور	مل	4	4	4	4	4	4	4
يمزج جيدا" ويرقد مدة خمس دقائق								
تركيز الفينول (ميكروغرام / لتر)		0	25	50	100	150	200	250

7. 12. 5 معايرة المركبات الفعالة سطحيا":

المواد الفعالة سطحيا السالبة هي الأكثر انتشارا" لأنها تكوّن المادة الأساسية للمنظفات المستعملة، ولذلك نذكر طريقة معايرتها فقط دون التعرض لطرائق معايرة المواد الفعالة سطحيا الموجبة أو غير المشردة.

تكوّن الجزيئات القطبية للمركبات الفعالة سطحيا" السالبة مع مركب أزرق الميتيلين (الموجب) معقدا" قابلا" للانحلال في الكلوروفورم ويمكن قياسه بالطريقة اللونية.

1 – الكواشف :

- محلول موقي: يُذاب 10 غرامات من فوسفات ثنائي الصوديوم اللامائية (Na_2HPO_4) في 800 مليلتر ماء مقطر، ويضاف إليها هيدروكسيد الصوديوم حتى يعطي وسطا" قلويا" (pH = 10. 5)، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.
- محلول أزرق الميتيلين: يذاب 0.2 غراما" من أزرق الميتيلين في لتر واحد من الماء المقطر.

- كلوروفورم ممزوج بالإيتانول بنسبة (1% من الإيتانول).
- محلول عياري من المادة الفعالة سطحيا" السالبة بتركيز قدره (10 مغ / لتر).

2 – المنحني البياني العياري:

يحضر في ستة أقماع فصل سعة الواحد منها 250 مليلترا" المحاليل الواردة في الجدول (7 – 35)، ترّج الحوجلات جيدا" مدة دقيقتين دون إحداث رغوة، تفصل الطبقة العضوية (الكلوروفورم) عن الطبقة المائية، ويضاف إلى الطبقة العضوية 100 مليلتر من الماء المقطر مع 5 مليلترات من محلول أزرق الميتيلين، وكذلك 1 مليلتر من حمض الكبريت النظامي، ويعاد من جديد فصل الطبقة العضوية عن الوسط الحمضي، وترشح الطبقة العضوية على أوراق ترشيح مشبعة بالكلوروفورم.

تجمع الطبقة المائية الحمضية مع الطبقة المائية القلوية، ويجرى على المزيج عملية استخلاص أخرى باستعمال 5 مليلترات من الكلوروفورم، ثم تغسل الطبقة العضوية من جديد بمحلول حمضي، وتعاد عملية الاستخلاص تلك للمرة الثالثة، وتجمع الأجزاء الثلاثة للطبقة العضوية المستحصل عليها ويكمل الحجم إلى 25 مليلترا" بالكلوروفورم، وتقاس امتصاصية المحاليل العضوية السابقة عند طول الموجة (650 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي، ويرسم المنحني البياني للامتصاصية بدلالة التركيز.

الجدول 7 – 35: تحضير المحاليل العيارية للمواد الفعالة سطحيا".

رقم الحوجلة	0	1	2	3	4	5
محلول عياري (مل)	0	1	2	5	7.5	10
ماء مقطر (مل)	100	99	98	95	92.5	90
محلول موقي (مل)	10	10	10	10	10	10
أزرق الميتيل (مل)	5	5	5	5	5	5
كلوروفورم (مل)	15	15	15	15	15	15
التركيز (مغ / لتر)	0	0.1	0.2	0.5	0.75	1

3 – معايرة العينات مجهولة التركيز:

يوضع في قمعي فصل سعة كل منهما 250 مليلترا" المواد الواردة في الجدول (7 – 36).

الجدول 7 – 36: تحضير العينة المائية وعينة الشاهد.

المادة المضافة	عينة الشاهد	عينة الماء المراد معايرته
الماء المراد معايرته (مل)	0	100
ماء مقطر (مل)	100	0
محلول موقي (مل)	10	10
محلول أزرق الميتيلين (مل)	5	5
كلوروفورم (مل)	15	15

تطبق على كل عينة العمليات التي أجريت في تحضير العينات العيارية، وتقاس الامتصاصية للعينة المائية المجهولة التركيز عند طول الموجة (650 نانو مترا") بعد ضبط صفر الجهاز بعينة الشاهد، تقارن النتيجة مع المنحني العياري لتحديد التركيز.

7. 13 مراقبة عملية تعقيم الماء:

7. 13. 1 تحديد الكلور المنحل في الماء:

آ) طريقة أورتوتوليدين(الطريقة اللونية):

تستعمل هذه الطريقة لتحديد قيمة الكلور الكلي المنحل في الماء، وينحصر تركيزه بين 0.1 إلى 1 مغ / لتر.

يعتمد مبدأ الطريقة على إضافة مادة أورتوتوليدين (Orthotolidine) للماء الحاوي على الكلور المنحل، حيث يظهر لون أصفر تتناسب كثافته مع تركيز الكلور المنحل في الماء، ويجري قياس كثافة اللون بوساطة الجهاز الطيفي عند طول الموجة (440 نانو مترا")، وليس من السهل تحضير عينات عياريه ثابتة من الكلور، لذلك تستبدل بمحاليل من مزيج الكرومات وثنائي كرومات البوتاسيوم التي تعطي الوسط المائي اللون الناتج نفسه عن تفاعل الكلور مع أورتوتوليدين.

1 – الكواشف :

- محلول حمض أورتولوليدين (0.1%): يذاب 135 ميلي غراما" من كلورهيدرات الأورتوتوليدين في 50 مليلترا" ماء" مقطرا"، ويضاف إلى المحلول مع التحريك المستمر

50 مليلترا" من حمض كلور الماء تركيزه (30%)، ويحفظ المزيج مدة ستة أشهر في زجاجة عاتمة، ويكون صالحا" للاستعمال خلال تلك الفترة الزمنية.

- محلول موقي: يذاب 28.66 غراما" من فوسفات ثنائي الصوديوم (Na_2HPO_4 , 2 H_2O) و 46.14 غراما" من فوسفات أحادية البوتاسيوم (KH_2PO_4) في لتر من الماء المقطر، ويؤخذ 200 مليلتر من المحلول المحضر ويضاف إليه 800 مليلتر من الماء المقطر فيعطي محلولا" موقيا" (pH = 6. 45).
- محلول كرومات – ثنائي كرومات البوتاسيوم: يذاب 0.155 غراما" من ثنائي كرومات البوتاسيوم اللامائية و 0.465 غراما" من كرومات البوتاسيوم اللامائية في لتر ماء مقطر، ويعطي المحلول الناتج لونا" أصفر مطابقا" للون محلول من الكلور تركيزه (1 مغ / لتر) الناتج عن تفاعله مع الأورتوتوليدين.

2 – المنحني البياني العياري:

يحضر من عملية تمديد محلول الكرومات – ثنائي كرومات البوتاسيوم عشرة محاليل بدرجة تمديد تتراوح بين الصفر و 100 مرة باستعمال المحلول الموقي في عملية التمديد، وتعطي تلك المحاليل ألوانا" متوافقة مع تراكيز الكلور المنحصرة بين 1 مغ / لتر و 0.1 مغ / لتر، وتقاس امتصاصية تلك المحاليل عند طول الموجة (440 نانو مترا") باستعمال الجهاز الطيفي، وترسم الامتصاصية بدلالة تركيز الكلور الموافق.

3– معايرة الكلور المنحل:

يؤخذ 10 مليلترات من الماء المراد معايرته ويضاف إليه 0.5 مليلتر من محلول الأورتوتوليدين، وتقاس امتصاصية العينة بعد ثلاث دقائق عند طول الموجة (440 نانو مترا")، وتقارن النتيجة بالمنحني العياري لتحديد تركيز الكلور في العينة المائية.

ملاحظة: يضبط صفر الجهاز على محلول شاهد محضر من 10 مليلترات ماء مقطر مضاف إليه 0.5 مليلتر من محلول الأورتوتوليدين.

ب) معايرة الكلور بالطريقة اليودية:

تستعمل هذه الطريقة لمعايرة الكلور الكلي ذي التركيز الأعلى من 1 مغ / لتر. ويعتمد مبدأ الطريقة على أكسدة شوارد اليود (I^-) بوساطة الكلور الحر المنحل في الماء، ثم معايرة اليود الناتج عن الأكسدة بوساطة محلول من تيوسولفات الصوديوم بوجود التيودين (Thiodene) كمشعر.

$$Cl_2 + 2\ I^- \rightarrow I_2 + 2\ Cl^-$$

$$I_2 + 2\ S_2O_3^{--} \rightarrow 2\ I^- + S_4O_6^{--}$$

يجري التفاعل في وسط حمضي (4 - 3 = pH) باستعمال حمض الخل.

1 – الكواشف:

- حمض الخل الثلجي، يود البوتاسيوم، تيودين.
- محلول تيوسولفات الصوديوم (0.1 نظامي): يحضر بإذابة 25 غراما" من تيوسولفات الصوديوم ($Na_2S_2O_3$, 5 H_2O) في800 مليلتر ماء مقطر يحتوي 1 غرام من بورات الصوديوم، ويكمل الحجم إلى اللتر بالماء المقطر.

2 – طريقة العمل:

تُؤخذ 100 مليلترات ماء مقطر، ويضاف إليها 5 مليلترات حمض الخل المركز و 1 غرام من يود البوتاسيوم، ويحرك المزيج مع إضافة (V) مليلتر من الماء المراد معايرته، يعاير المحلول باستعمال تيوسولفات الصوديوم مع التيودين كمشعر.
لنفرض أن (m) مليلترا" من محلول التيوسلفات التي نظاميتها (N) قد استعملت للمعايرة، فإن تركيز الكلور في العينة (C) يعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{m \times 35.5 \quad N \times 1000}{V}$$

تعطي هذه المعادلة تركيز الكلور الكلي (Cl_2) المنحل مقدرا بالمليغرام في اللتر.

7. 13. 2 تحديد طلب الكلور باستعمال طريقة النقطة الحرجة (BREAK – POINT):

يتفاعل الكلور المضاف مع عدد كبير من المركبات المعدنية والعضوية المنحلة أو المعلقة في المياه السطحية، فالأمونيا المنحلة في المياه السطحية تمثل حالة مهمة من تفاعلات الكلور، وتلك التفاعلات سريعة ومعقدة، نلخصها بالمعادلات الآتية:

$$Cl_2 + 2\,H_2O \rightleftharpoons HClO + H_3O^+ + Cl^-$$

$$HClO + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + ClO^-$$

$$NH_3 + HClO \rightleftharpoons NH_2Cl + H_2O$$

$$NH_2Cl + HClO \rightleftharpoons NHCl_2 + H_2O$$

$$NHCl_2 + HClO \longrightarrow NCl_3 + H_2O$$

$$2\,NHCl_2 + H_2O \longrightarrow N_2 + 3\,HCl + HClO$$

يحدد طلب الكلور بإضافة كميات متزايدة من الكلور إلى الماء المراد دراسته، مع معايرة الكلور المتبقي بعد فترة زمنية محددة من لحظة إضافة كمية الكلور، وإن رسم المنحني البياني للكلور المتبقي في الوسط المائي بدلالة الكلور المضاف يعطي نهاية عظمى متبوعة بنهاية صغرى قبل أن تصبح العلاقة خطية، وتطابق النهاية الصغرى النقطة الحرجة (BREAK – POINT)، وهي تعبّر عن عيار الكلور الأدنى اللازم لمعالجة الماء المدروس دون بقاء كلور حر في الوسط المائي.

تحضر مجموعة زجاجات محكمة الإغلاق، وترقم من 1 إلى س، ويوضع في كل منها 50 مليلترا" من الماء المراد اختباره وعدد تزايدي من قطرات ماء جافيل، وتغلق الزجاجات وتمزج جيدا" ثم تترك لمدة 30 دقيقة لتفاعل الكلور مع المركبات المعدنية والعضوية إضافة إلى دوره التعقيمي في التفاعل مع الأحياء الدقيقة.

يعاير الكلور المتبقي في العينات المائية، وتجري المعايرة باستعمال طريقة الأورتوتوليدين، حيث تؤخذ 5 مليلترات من كل عينة ويضاف إليها خمس قطرات من محلول الأورتوتوليدين (0.1%)، تترك لترقد مدة خمس دقائق ثم تقاس امتصاصيتها عند طول الموجة (440 نانومترا").

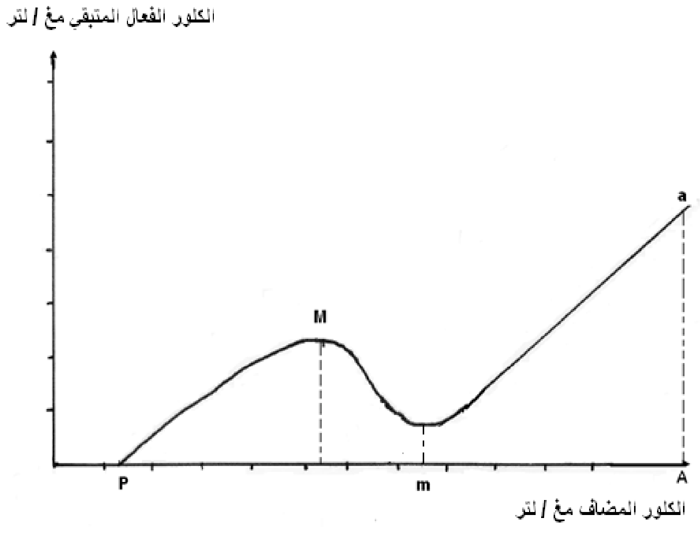
يرسم المنحني البياني لتركيز الكلورالمتبقي في العينة المائية بدلالة الكلور المضاف، ويمر المنحني بنهاية صغرى تطابق النقطة الحرجة (BREAK – POINT).

يوضح الشكل (7 – 39) نموذجا" للمنحني البياني، حيث تمثل المنطقة المحصورة بين مركز المنحني والنقطة (P) كمية الكلور المستهلكة بشكل سريع لأكسدة المركبات القابلة للأكسدة السريعة (معادن، مواد مرجعة،...،... .) وبالتالي فإن الكلور المستهلك في هذه المنطقة لا يحمل أي فعل مضاد للبكتريا، يتفاعل الكلور المضاف في المنطقة المحصورة بين (P و M)

مع الأمونيا والمركبات الآزوتية العضوية المنحلة في الماء، ولذلك فإن معظم الكلور المتبقي في تلك المنطقة يكون في صيغة كلور أمين الأحادي والثنائي والثلاثي تبعا" لقيمة pH الوسط وللنسبة (Cl_2 / NH_3).

أما المنطقة المحصورة بين (m و M) فإنها تمثل دور الكلور في تفكيك المركبات الكلورية المتكونة في المرحلة السابقة (خاصة الكلور أمين)، ولذلك نلاحظ تزايد الكلور الحر وتناقص الكلور أمين في الكلور الكلي المعاير.

تعبر النقطة (m) عن التركيز اللازم من الكلور لإجراء عمليات الأكسدة، وبالتالي فإن المنطقة التي تلي تلك النقطة تمثل منطقة التعقيم (التطهير).



الشكل 7 – 39: طلب الكلور والنقطة الحرجة.

7. 13. 3 معايرة الأوزون:

يتمتع الأوزون، بخلاف الكلور ومشتقاته، بقدرة على تفكيك الخلايا الحية كالبكتريا والجراثيم على نحو سريع جدا"، وهذا الفعل التعقيمي يمكن أن يصل أيضا" إلى أحياء دقيقة أخرى مثل الخمائر والفطريات وغيرها، وأن وجود تركيز قدره 0.4 مليغراما" من الأوزون في لتر من الماء مدة أربع دقائق على الأقل يكفي للقضاء على أكثر الأحياء الدقيقة الموجودة في المياه السطحية.

آ) معايرة الأوزون في الهواء بطريقة اليود:

تتطلب مراقبة عملية التنقية لمحطات المياه المستعملة للأوزون في إحدى مراحلها معايرة الأوزون في الوسط الغازي، ولذلك تجرى معايرة الأوزون بطريقة اليود لأن تركيزه مرتفع في تلك الشروط والطريقة سهلة الاستعمال.

تعتمد هذه الطريقة على تفاعل الأوزون مع شوارد اليود في وسط معتدل، ثم تحويل ناتج التفاعل إلى اليود الحر بتحميض وسط التفاعل، ويعاير اليود الحر الناتج بمحلول التيوسلفات.

1 – الكواشف :

- محلول يود البوتاسيوم (2%).
- مشعر النشاء (Empois d`Amidon).
- حمض الكبريت النظامي.
- محلول من اليود I_2 (0.1 نظامي).
- محلول تيوسلفات الصوديوم (0.5 نظامي)، إن 1 مليلتر من هذا المحلول يوافق 12 مليغراما" من الأوزون.

2 – طريقة العمل:

تجرى عملية قرقرة للهواء الأوزوني في 200 مليلتر من محلول يود البوتاسيوم (2%) خلال فترة زمنية محدودة مع معرفة الكمية المتدفقة من الغاز في الأنبوب، وبعد انتهاء عملية القرقرة تلك يضاف للعينة 10 مليلترات من حمض الكبريت النظامي وعدد من القطرات من المشعر، وتعاير العينة بمحلول تيوسلفات البوتاسيوم.

ليكن (V) حجم الهواء الأوزوني الذي أمكن إمراره في محلول يود البوتاسيوم مقدرا" باللتر، وليكن (n) حجم محلول المعايرة من تيوسولفات الصوديوم مقدرا" بالمليلتر، ولتكن (a) عياريه محلول التيوسلفات المستعمل، فإن تركيز الأوزون في الهواء يعطى بالعلاقة الآتية:

$$C = 24 \frac{a \cdot n}{V}$$

وتقدر قيمة تركيز الأوزون في الهواء (C) بالمليغرام في اللتر.

ب) معايرة الأوزون المنحل في الماء:

تعدّ الطريقة اللونية (طريقة SHECHTER) من أهم الطرائق المستعملة لمعايرة الأوزون المنحل في الماء، وتسمح هذه الطريقة بمعايرة تراكيز محصورة بين الصفر و 2.5 مغ / لتر من

الأوزون، ويعتمد مبدأ الطريقة على تفاعل الأوزون مع يود البوتاسيوم في وسط معتدل (pH = 7):

$$O_3 + 2\ KI + H_2O \rightarrow I_2 + O_2 + 2\ KOH$$

$$I_2 + I^- \rightarrow I_3^-$$

تعطي شوارد (I_3^-) الناتجة لونا" قابلا" للقياس باستعمال الجهاز الطيفي عند طول الموجة (352 نانو مترا").

1 – الكواشف :

- محلول عياري من اليود (0.01 نظامي): يحضر المحلول بإذابة 6.4 غراما" من يود البوتاسيوم مع (1.2692) غراما" من اليود (I_2) في لتر ماء مقطر.
- محلول موقي: يذاب 14.2 غراما" من فوسفات ثنائية الصوديوم (Na_2HPO_4 , 2 H_2O) و 13.61 غراما" من فوسفات أحادية البوتاسيوم (KH_2PO_4) و 20 غراما" من يود البوتاسيوم في لتر من الماء المقطر.

2 – المنحني البياني العياري:

تجرى عملية تمديد 100 مرة للمحلول اليودي المحضر للحصول على محلول تركيزه (0.0001 نظامي) إن واحد مليلتر من هذا المحلول يعادل (2.4 ميكروغراما") من الأوزون.
توضع الكميات الآتية من المحلول اليودي الممدد في سلسلة من أنابيب الاختبار المرقمة: 0 – 1 – 2 – 4 – 6 – 8 – 10 مليلتر، ويكمل الحجم إلى 10 مليلترات بالمحلول الموقي، وتقاس امتصاصية المحاليل السابقة عند طول الموجة (352 نانو مترا")، وترسم الامتصاصية بدلالة تركيز الأوزون الموافق لليود المعاير.

3 – معايرة الأوزون في العينة المائية:

يضاف 5 مليلترات من الماء المراد معايرته إلى 5 مليلترات من المحلول الموقي وتقاس الامتصاصية (352 نانومترا") بعد 30 دقيقة من لحظة الإضافة، تقارن النتيجة مع المنحني البياني العياري لمعرفة تركيز الأوزون المنحل في العينة المائية.

ملحقات

ملحق 1

المعايير القياسية السورية لمياه الشرب (م. ق. س 45 / 2007)

1 – الجوانب الحيوية

	المكون	الوحدة	الحد الأقصى المسموح	الملاحظات
	الجوانب الحيوية الجرثومية			
1	القولونيات الكلية	مستعمرة/ 100 مل	صفر	بدرجة حرارة 37^{o} م بعد 24 و48 ساعة
2	الأيشريشيا كولي	مستعمرة/ 100 مل	صفر	بدرجة حرارة 44^{o} م بعد 24 و 48 ساعة
3	القولونيات البرازية	مستعمرة/ 100 مل	صفر	بدرجة حرارة 37^{o} م بعد 24 و 48 ساعة
4	التعداد الكلي لجراثيم أخرى	مستعمرة/ 100 مل	200 – 2000	بدرجة حرارة 37^{o} م بعد 24 ساعة بدرجة حرارة 22^{o} م بعد 72 ساعة
5	الكلور الحر المتبقي	مغ / لتر	0.1 – 1	في نهاية الشبكة لا يقل عن 0.1 مع زمن تماس لا يقل عن 30 دقيقة ولا تزيد على 1 في بداية الشبكة
الجوانب الحيوية الفيروسية والحيوية الأخرى		يجب أن تكون خالية من الفيروسات ووحيدات الخلية والديدان والطحالب والفطريات والأشينيات والحلزونات وغيرها		

2 – الجوانب الكيميائية اللاعضوية (المواد الكيميائية السامة).

مسلسل	المكون	الرمز	الحد المسموح (مغ / لتر)	الحد الأقصى	OMS* mg/l
1	الزرنيخ	As	0.01	0.01	0.01
2	الكادميوم	Cd	0.003	0.003	0.003
3	الكروم الكلي	Cr	0.05	0.07	0.05
4	السيانيد	CN	0.05	0.05	0.07
5	الرصاص	Pb	0.01	0.01	0.01
6	الزئبق	Hg	0.001	0.001	0.006
7	السيلينيوم	Se	0.01	0.01	0.01
8	الموليبديوم	Mo	0.07	0.07	0.07
9	الباريوم	Ba	0.1	0.7	0.7
10	النيكل	Ni	0.02	0.02	0.07
11	الفلور	F	1.5		1.5
12	البور	B	0.3	0.5	0.5
13	الأمونيا	$N - NH_4$	0.05	0.05	لا يوجد
14	النتريت	$N- NO_2$	0.2	0.2	3
15	النترات	$N - NO_3$	50	50	50
16	الفوسفات	PO_4	0.5	1	–
17	الطلب الكيميائي على الأكسجين	COD	2	3	–
18	الكربون العضوي الكلي	COT	3	5	–
19	الأنتموان	Sb	0.005	0.02	0.02

* معايير منظمة الصحة العالمية (OMS) لعام 2006.

3 – الجوانب الجمالية لمياه الشرب:

يجب أن تكون مياه الشرب خالية بصفة عامة من العكر، عديمة اللون والرائحة والرغوة وذات طعم مستساغ، وألا تزيد المواد ذات التأثير في الجودة الجمالية على الحدود المبينة كالآتي:

تسلسل	المكون	الرمز	الوحدة	الحد المسموح	الحد الأقصى المسموح	OMS
1	الرقم الهيدروجيني	pH	–	6.5 – 9	عندالتعقيم بالكلور أقل من 8	6.5– 9.5
2	اللون	TCU	مغ / لتر كوبالت البلاتين	15		–
3	الطعم والرائحة			مقبولان لدى معظم المستهلكين		
4	العكارة	TUR	NTU	1	5	–
5	الناقلية	cond	مكروسيمنز/سم	1500	2000	
6	المواد الصلبة الكلية الذائبة	T D S	مغ / لتر	900	1200	1000
7	القساوة الكلية	T H	مغ / لتر	500	700	200
8	الكبريتات	SO_4^{-2}	مغ / لتر	250	500	500
9	الكلور الشاردي	Cl^-	مغ / لتر	250	500	250
10	الصوديوم	Na	مغ / لتر	200	300	–
11	المنغنيز	Mn	مغ / لتر	0.2	0.4	0.4
12	الحديد	Fe	مغ / لتر	0.3	1	–
13	النحاس	Cu	مغ / لتر	1	2	
14	الألمنيوم	Al	مغ / لتر	0.1	0.2	0.2
15	التوتياء	Zn	مغ / لتر	3	5	3
16	كبريت الهيدروجين	H_2S	مغ / لتر	0.01	0.3	0.05 – 1
17	الفينولات		مغ / لتر	0.5	0.5	

4- الملوثات العضوية ذات الصلة بالصحة العامة:

المكون	الحد المسموح (ميكروغرام/لتر)	OMS µg/l	المكون	الحد المسموح (ميكروغرام/لتر)	OMS µg/l
مجموعة الألكانات المكلورة			1 , 2 ثنائي الكلوروبروبان	20	40
1، 2 ثنائي كلور الإيتان	30	30	1 , 3 ثنائي الكلوروبروبان	20	–
1، 1، 1، ثلاثي كلور الايتان	2000	–	سباعي الكلور وايبوكسيد سباعي الكلور	0.03	–
رابع كلور الكربون	2	4	سداسي الكلوروبترين	1	–
مجموعة الألكينات المكلورة			الايزوبروتورون	9	9
1، 1 ثنائي كلور الايتين	30	–	لندان	2	2
1، 2 ثنائي كلور الايتين	50	50	MCPA	2	2
ثلاثي كلور الايتين	30	20	الميثوكسي كلور	20	20
رباعي كلور الايتين	10	40	الميثولاكلور	10	10
كلور الفينيل	5		المولينيت	6	6
المبيدات			البنديميثالين	20	20
الآلاكلور	20	20	البنتاكلوروفينول	9	9
الألديكارب	10	10	البيرميثرين	20	300
الألدرين وثنائي الألدرين	0.03	0.03	البروبانيل	20	–
الأترازين	2	2	البريديت	100	–
البنتازون	30	–	السيمازين	2	2
الكاربوفوران	5	7	التريفلورالين	20	20
الكلوردين	0.2	0.2	2 , 4 – د ب	90	90
الكلوروتولورون	30	30	الديكلوروبروب	100	100
د. د. ت	1	1	الفينوبروب	9	9
1 , 2 ثنائي برومو – 3 – كلوروبروبان	1	1	الميكوبروب	10	10
2 , 4 – د	30	30	2, 4 , 5 – ت	9	9

5 – المقومات العضوية:

هيدروكربونات حلقية	القيمة المسموح بها (مكرو غرام /لتر)	OMS µg /l	هيدروكربونات حلقية	القيمة المسموح بها (مكرو غرام / لتر)	OMS µg /l
البنزين	10	10	التولوين	700	700
الزيلين	500	500	إيتيل البنزين	300	300
الستايرن	20	20	بترو(أ) بيرين	0.7	
البنزين المكلور					
أحادي كلور البنزين	300	–	1 , 2 – ثنائي كلور البنزين	1000	1000
1 , 4 – ثنائي كلور البنزين	300	300	ثلاثي كلور البنزين (إجمالي)	20	–
متنوعات					
ثنائي الأديبات (2 – اثيلكسيل)	80		ثنائي الفتالات	8	
الأكريلاميد	0.5	0.5	الايبيكلورو هيدرين	0.4	0.4
سداسي الكلوروبوتادين	0.6	0.6	حمض الايديتيك (EDTA)	200	600
حمض ثلاثي الأسيتيك النتريلي	200		أكسيد القصدير الثلاثي البوتيل	2	–

ملحق 2

الحدود المقبولة في مياه الصرف الصناعي قبل طرحها إلى شبكة الصرف العامة.

اسم العنصر	الرمز	الحد الأقصى المسموح به (مغ / لتر)	اسم العنصر	الرمز	الحد الأقصى المسموح به (مغ / لتر)
المواد الصلبة القابلة للترسيب	S S	10	مجموع المواد العالقة	T SS	500
الكبريتيد	S	2	الكبريتات	SO_4	1000
الأمونيا والأمونيوم	NH_3-N NH_4-N	100	الفوسفات	PO_4	20
الزيوت والشحوم القابلة للتصبن والمواد الراتنجية		100	الزيوت والشحوم المعدنية		10
الباريوم	Ba	3	البورون	B	1
الكادميوم	Cd	0.1	الكروم السداسي	Cr^{+6}	0.1
الكروم الثلاثي	Cr^{+3}	2	النحاس	Cu	1
الرصاص	Pb	1	الزئبق	Hg	0.01
النيكل	Ni	2	السيلينيوم	Se	1
الفضة	Ag	1	التوتياء	Zn	4
السيانيد	CN	0.5	مركبات الفينول		2
الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين	DBO	800	الطلب الكيميائي للأكسجين	DCO	1600
المواد الصلبة الكلية المذابة	TDS	2000	الكلوريد	Cl	600
الفلوريد	F	8	المبيدات		0.005
المنظفات	MBAS	5	المركبات العضوية الهالوجينية	AOX	0.1
درجة الحرارة	T	35^{o} م	دليل الهيدروجين	pH	6.5-9.5

ملحق 3

المواصفات القياسية السورية لمياه الصرف الصناعية المسموح طرحها في المياه السطحية.

المؤشرات	الرمز	أنواع المستقبلات (البيئة المائية المستقبلة) ملغ/ لتر			
		البحار	مسطحات مائية	الأنهار	قنوات الصرف الزراعية
الطلب الحيوي على الأكسجين	DBO_5	60	20	40	60
الطلب الكيميائي على الأكسجين	DCO (Dichromate)	120	40	80	120
الزيوت والشحوم	Oil & Grease معدنية	1.5	1	1	1
	Oil & Grease عضوية	13.5	9	9	9
المواد العالقة الكلية	TSS	60	30	30	60
المواد الصلبة الكلية المذابة	TDS	–	800	1200	1000
الفوسفات	PO_4^{-3}	10	1	15	10
الأمونيوم	NH_4^+	10	5	5	0.5
نترات	NO_3^-	50	30	50	40
الفينولات	Phenols	0.5	0.01	0.02	0.5
الفلوريد	F^-	1	0.5	1.5	0.5
الكبرتيد	S^{--}	1	1	1	1
المنظفات	MBAS	2	0.5	0.5	0.5
الهيدروكربونات النفطية	hydrocarbons	15	5	5	5
العناصر الثقيلة					
ألمنيوم	Al	3	1	1	3
الزرنيخ	As	0.1	0.1	0.1	0.1
الباريوم	Ba	2	–	1	–

بيريليوم	Be	0.05	0.05	0.05	0.05
كادميوم	Cd	0.05	0.05	0.05	0.05
سيانيد	CN^-	0.15	0.1	0.1	0.05
كروم اجمالي	Cr	0.5	0.5	0.5	0.5
نيكل	Ni	0.5	0.3	.0.3	0.5
زئبق	Hg	0.005	0.005	0.005	0.005
حديد	Fe	2	1	2	2
أنتيمون	An	1	0.3	0.3	0.3
نحاس	Cu	1.5	1	1	1
منغنيز	Mn	1	0.5	0.5	0.5
زنك	Zn	2	1	1	2
الرصاص	Pb	0.5	0.2	0.2	0.5
الفضة	Ag	0.1	0.05	0.05	–
المجموع الكلي للعناصر الثقيلة		2	1	1	2
العدد الإجمالي للبكتريا القولونية	Colony /100ml	5000	2500	100	5000
اللون	Mg/l Co-Pt	20	20	20	20
الرقم الهيدروجيني	pH	9–6	9–6	9–6	9–6
درجة الحرارة	درجة مئوية	10 درجات أعلى من درجة حرارة الوسط	5 درجات أعلى من درجة حرارة الوسط المستقبل		

الاختصارات

Abréviation

الرمز باللغة الفرنسية	الرمز باللغة الإنكيزية	مدلول الرمز باللغة العربية
AGV	VFA	حموض دسمة طيارة
AHA	HAA	حمض هالوجين الخل
AND	DNA	الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين
ARN	NRA	الحمض الريبي النووي
CI	IC	الكروماتوغرافيا الشاردية
CLHP	HPLC	الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء
COD	DCO	الكربون العضوي المنحل
COT	TOC	الكربون العضوي الكلي
CT	TC	الكربون الكلي
CSF	FCS	كلور كبريتات الحديد
DBO	BOD	الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين
DBO_5	BOD_5	الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين خلال خمسة أيام
DCO	COD	الطلب الكيميائي على الأكسجين
DTO	TOD	الطلب الكلي على الأكسجين
DThO	ThOD	القيمة النظرية للطلب الكلي على الأكسجين
EDTA	EDTA	حمض إتيلين ثنائي أمين – رباعي الخل
µm	µm	ميكرومتر
µs	µs	ميكرو سيمنس
MES	SS	المواد المعلقة
MESO	OSS	المواد المعلقة العضوية
MEST	TSS	المواد المعلقة الكلية
MF	MF	الترشيح المجهري
MST	*TS*	المواد المتبقية الصلبة الكلية
MVS	VSS	المواد المعلقة القابلة للتطاير
nm	nm	نانومتر
NF	NF	الترشيح الدقيق جدا"
NTK	TKN	آزوت كيلدال الكلي
NTU	NTU	وحدة قياس العكارة بجهاز الشفافية
OI	IO	التناضح العكسي

OMS	WHO	منظمة الصحة العالمية
pH	pH	دليل الهيدروجين
ppm	ppm	جزءا" في المليون
ppb	ppb	جزءا" في البليون
POA	AOP	طرائق الأكسدة المتقدمة
RMN	NMR	الرنين المغناطيسي النووي
SAF	SSA	أملاح الحموض القوية
SDT	TDS	المواد الصلبة الكلية المذابة
ST	TS	الملوحة الكلية
STA	TSA	الملوحة الكلية مقاسة بالشوارد السالبة
STC	TSC	الملوحة الكلية مقاسة بالشوارد الموجبة
TA	AT	معيار قلوية الماء
TAC	ATC	معيار قلوية الماء الكلية
TAF	SAT	معيار الحموضة الشديدة
TCA	TCA	حمض ثلاثي كلور الخل
TH	TH	معيار القساوة
TH Ca	TH Ca	معيار القساوة الكلسية
TH Mg	TH Mg	معيار القساوة المغنزيومية
THM	THM	ثلاثي هالوجين الميتان
THP	PTH	معيار القساوة الدائمة
UF	UF	ترشيح فائق
UMF	UMF	ترشيح فائق مجهري
UV	UV	الأشعة فوق البنفسجية

المصطلحات العلمية

الفرنسية	الانكليزية	العربية
Abolir	Abolish	أبطل
Absorbance	Absorbance	امتصاصية
Absorption Atomique	Atomic Absorption	امتصاص ذري
Absolu	Absolute	مطلق
Absorbant	Absorbent	ماص
Accélérateur	Accelerator	مسرع
Accepteur	Acceptor	آخذ
Accumulation	Accumulation	تراكم
Acides Aminés	Amino Acids	حموض أمينية
Acides Gras Volatils (AGV)	Volatil Fatty Acids (VFA)	حموض دسمة طيارة
Acide Oxalique	Oxalic Acid	حمض الحماض
Acide Formique	Formic Acid	حمض النمل
Acide Humique	Humic Acid	حمض الدبال
Acidité	Acidity	حموضة
Acidimétrie	Acidimetry	قياس الحموضة
Acide Gras	Fatty Acid	حمض دسم
Acide Désoxyribnoucléique (AND)	Desoxyribnoucleic Acid (DNA)	الحمض الريبي النووي منقوص الأكسجين
Acide nucléique	Nucleic acid	حمض نووي
Acide Ribonucléique (ARN)	Ribonucleic acid (NRA)	الحمض الريبي النووي
Acide palmitique	Palmitic Acid	حمض النخيل
Acide Acétique	Acetic Acid	حمض الخل
Action	Action	فعل
Activité	Activity	فعالية

Adsorption	Adsorption	امتزاز
Adsorbant	Adsorbent	ماز
Adsorbé	Adsorbed	ممتز
Adhésion	Joining	التصاق
Adoucissement	Softening	إزالة عسر (قساوة) المياه
Addition	Addition	ضم
Aération	Aeration	تهوية
Aération prolongée	Extended Aeration	تهوية مطولة
Aérobie	Aerobic	هوائي (تفاعل حيوي)
Affinité	Affinity	ألفة
Agent de Mouillage	Wetting Agent	عامل التبلل
Agressivité	Agressivity	الفعل الآكال
Aire spécifique	Specific Area	السطح النوعي
Alcanité	Alkalinity	قلوية – قاعدية
Albumine	Albumin	زلال
Alcalimétrique des eaux	Water Alkalinity	قلوية الماء
Alcalimétrique Complete	Complete Alkalinity	قلوية الماء الكلية
Algue	Alga - Algae	طحلب
Amidon	Starch	النشاء
Amibe	Amoeba	أميبة
Ammonification	Ammonification	نشدرة المركبات العضوية
Amorphe	Amorphous	عديم الشكل
Anaérobie	Anaerobic	لاهوائي (تفاعل حيوي)
Anabolisme	Anabolism	البناء (إبتناء)
Anti – acide	Anti – Acid	مقاوم الحمض
Antibiotique	Antibiotic	صادات حيوية
Antigène	Antigen	مولد المضاد

Anticorps	Antibody	الأجسام المضادة
Analyses	Analysis	تحاليل
Analyseur	Analyzer	محلل
Anhydre	Anhydrous	لامائي
Appareil	Apparatus	جهاز
Arc Électrique	Electric Arc	قوس كهربائي
Argile	Argil - Clay	غضار
Aromatique	Aromatic	عطري
Arsenic	Arsenic	زرنيخ
Ascomycètes	Ascomycetes	فطريات زقية
Ascospores	Ascospores	أبواغ زقية
Association	Association	تجمع
Asymétrique	Asymetric	غير متناظر
Atmosphere	Atmosphere	جو
Auto épuration	Self Purification	تنقية ذاتية
Autotrophe	Autotrophic	ذاتية التغذية
Autoclave	Autoclave	معقم
Azote total	Total nitrogen	أزوت كلي
Azote KJELDAHL	Kjeldahl Nitrogen	أزوت كيلدال
Azote Ammoniacal	Ammoniacal nitrogen	أزوت في صيغة أمونيا
Bacilles	Bacillis	عصيات
Bactéricide	Bactericide	مبيد البكتريا
Bande d'Absorption	Absorption Band	حزمة الامتصاص
Bassin d'Aération	Aeration Basin	حوض التهوية
Bilan matières	Material Balance	موازنة المواد
Biodégradation	Biodegradation	التفكك الحيوي
Biodégradabilité	Biodegradability	قابلية التفكك الحيوي
Biosphère	Biosphere	المحيط الحيوي

Biosorption	Biosorption	امتزاز حيوي
Biosynthése	Biosynthesis	التركيب الحيوي
Boue	Sludge	حمأة (وحل)
Boues Activées	Activated Sludge	حمأة منشطة
Brasserie	brewery	صناعة الجعة
Calorifique	Calorific	مولد للحرارة
Calcifiante	Calcific	كلسي
Capillaire	Capillary	شعري
Capacité d'Échange	Exchange Capacity	سعة التبادل
Capacité Statique	Static Capacity	سعة مستقرة
Capacité Dynamique	Dynamic Capacity	سعة ديناميكية
Capacité Utile	Useful Capacity	سعة مفيدة
Capsule	Capsule	جفنة
Carbone Organique Assimilable	Assimilable Organic Carbon	كربون عضوي قابل للتمثيل
Carbone Organique Dissous (COD)	Dissolved Organic Carbon(DOC)	الكربون العضوي المنحل
Carbone Organique total (COT)	Total Organic Carbon (TOC)	كربون عضوي كلي
Carbone Total (CT)	Total carbon (TC)	الكربون الكلي
Caséine	Casein	جبنين (كازئين)
Catabolisme	Catabolism	الهدم (الانتفاض)
Catalyseur	Catalyst	وسيط
Cellule	Cell	خلية
Centrifuge	Centrifugal	مثقلة
Chaux	Lime	كلس حي
Charge Polluant	pollutant load	حمولة ملوثة
Charge massique (Cm)	Mass Loading	حمولة كتلوية
Charge volumique (Cv)	Volume Loading	حمولة حجمية
Chloration	Chlorination	كلورة

Chaine ramifiée	Branched chain	سلسلة متفرعة
Chaine Linéaire	Linear Chain	سلسلة خطية
Chlorophylle	Chlorophyll	اليخضور (كلوروفيل)
Chimiosynthèse	Chemosynthesis	التركيب الكيميائي
Chimiotrophe	Chemotrophic	كيمياء التغذية
Chaleur d'Adsorption	Heat of Adsorption	حرارة الامتزاز
Champ de Force Centrifuge	Centrifugal Force Field	حقل القوى النابذة
Champ d'Epandage	Field Spreading	حقل تصفية مياه المجارير
Chapeau de Digestion	Digestion Cap	غطاء الهاضم
Charbon Activé	Activated Chareoal	فحم منشط
Chromatogramme	Chromatogram	كروماتوغرام
Chromatographie Ionique (CI)	Ion Chromatography (IC)	الكروماتوغرافيا الشاردية
Chromatographie Liquide Haute Performance(CLHP)	High Performance Liquid Chromatography (HPLC)	الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء
Cinétique d'echange	Exchange kinetics	حركية التبادل
Clarification	Clarification	تصفية (ترويق)
Clarificateur	Clarifier	مُروِق
Coagulant	Coagulant	مخثر
Coagulation	Coagulation	تخثر
Coccus	Coccus	مكورة
Coéfficient de Solubilité	Solubility Coefficient	معامل الانحلالية
Coéfficient de partage	Sharing Coefficient	معامل التوزع
Coéfficient de Distribution	distribution coefficient	معامل التوزيع
Coéfficient de trainée	Coefficient of Drag	معامل الانزلاق
Cohésion	Cohesion	تماسك

ColloÏdal	Colloidal	غروي
Coliformes	Coliforms	العصيات القولونية
Coliforme fécaux	Faecal Coliforms	القولونيات البرازية
Colmaté	Plugged	سد الثغرات
Colonne de Séparation	Separation Column	عمود الفصل
Compressibilité	Compressibility	قابلية الضغط
Concentration	Concentration	تركيز
Condictivité	Conductivity	ناقلية
Configuration	Configuration	هيئة
Constante Diélectrique	Dielectric Constant	ثابت العزل الكهربائي
Contamination	Contamination	تلوث بالعدوى
Contacte statique	Static contact	تماس مستقر (ساكن)
Copolymérisation	Co-polymerization	بلمرة مشتركة
Corrosion	Corrosion	تآكل
Couche superficiele	Superficiale Layer	طبقة سطحية
Couches Superposées	Superimposed layers	طبقات متراكمة
Courbe d'etalonnage	Calibration Curve	منحني عياري
Cristalloïde	Crystalloid	شبه بلورية
Cumulative	Cumulative	جمعي – تراكمي
Débit	Flow	تدفق
Décarbonatation	Decarbonatation	إزالة الكربونات
Décantation	Decantation	ترقيد
Décantation en piston	Decanting piston	ترقيد مكبسي
Dégradabilité	Degradability	قابلية التفكك
Degraisseur	Grease Trap	حوض إزالة الزيوت
Dégrillage	Screening	فصل المعلقات بالشباك (غربلة)
Déminéralisation	Demineralization	إزالة التمعدن

Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	Biochemical Oxygen Demand (BOD)	الطلب الحيوي الكيميائي على الأكسجين
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	Chemical Oxygen Demand (COD)	الطلب الكيميائي على الأكسجين
Demande Théorique en Oxygéne (DThO)	Theoretical oxygen demand (ThOD)	القيمة النظرية للطلب الكلي على الأكسجين
Demande Totale en Oxygène (DTO)	Total Oxygen Demand (TOD)	الطلب الكلي على الأكسجين
Dénitrification	Denitrification	إزالة النترات
Déprimant	Depressing	موهنات
Dépots Fossiles	Fossil Deposits	رواسب أحفورية
Désactivation	Deactivation	تخامد
Désinfection	Disinfection	تطهير (تعقيم)
Dessableur	Sand Trap	حوض فصل الرمل
Détergents	Detergents	المنظفات
Détecteur	Detector	كشاف (كاشف)
Dialyse	Dialysis	الميز الغشائي
Dialyse simple	Single dialysis	الميز الغشائي البسيط
Diazotation	Diazotization	ديأزة
Diélectrique	Dielectric	عزل كهربائي
Digestion Anaérobie	Anaerobic Digestion	الهضم اللاهوائي
Digestibilité	Digestibility	قابلية الهضم
Dipôle	Dipole	ثنائي القطب
Disque biologique	Biologic Disc	قرص حيوي
Dispersion	Dispersion	تشتت
Dysenterie	Dysentery	الزحار
Eau Résiduaire Urbaine	Urban Waste Water	ماء الصرف الصحي
Eau Résiduaire Domestique	Domestic Waste Water	ماء الصرف المنزلي

Eau Résiduaire Industrielle	Industrial Waste Water	ماء الصرف الصناعي
Eau Naturelle	Natural Water	ماء طبيعي
Eaux de souterraine	Underground waters	مياه جوفية
Échange d'Ion	Ion Exchange	تبادل شاردي
Échangeur Cationique	Cationic Exchanger	مبادل شاردي موجب
Échangeur Anionique	Anionic Exchanger	مبادل شاردي سالب
Échantillon	Sample	عينة
Effet Bactériostatique	Bacteriostatic Effect	فعل تثبيط البكتريا
Effet Bactéricide	Bactericidal Effect	فعل إتلاف البكتريا
Effet TYNDALL	TYNDALL Effect	ظاهرة تيندال
Électrode Spécifique	Specific Electrode	مسرى نوعي
Électrodialyse	Electrodialysis	ميز كهربائي
Électrolytique	Electrolytic	كهرليتيه
Électrostatique	Elecrostatic	كهربائي ساكن
Électrophorèse	Electrophoressis	هجرة كهربائية
Éluant	Eluent	شاطف
Émulsion	Emulsion	مستحلَب
Émeri	Emery	مصنفر
Empoisonnement	Poisoning	تسمم
Émulsionnant	Emulsifier	مستحلِب
Encrassement	Dirtying	توسخ
Engrais	Fertilizer	أسمدة
Endothermique	Endothermic	ماص للحرارة
Enzyme	Enzyme	إنزيم
Épaississement	Thickening	تكثيف (تثخين)
Épuration Biologique	Biological purification	تنقية حيوية
Épandage	Spreading	تصفية مياه المجارير
Équivalent Habitant (EH)	Inhabitant Equivalent	مخلفات شخص واحد

Équilibre Statique	Static Equilibrium	توازن ساكن
Équilibre Sédimentation – Diffusion	Sedimentation Equilibrium - Diffusion	التوازن الترسبي الانتشاري
Eutrophisation	Eutrophication	الإثراء الغذائي
Exothermique	Exothermic	ناشر للحرارة
Facteur de Sélèctivitè	Selectivity Factor	عامل الانتقائية
Faune Aquatique	Aquatic Fauna	الحيوانات المائية
Ferrobactéries	Ferrobacteria	البكتريا الحديدية
Film	Film	الرُقاقة(الشريحة)
Filtration	Filtration	ترشيح
Finition Textile	Textile Finishing	إتمام عملية النسج
Flotation	Flotation	تطويف (تعويم)
Floculation	Flocculation	تكتل(تندُف)
Fluide	Fluid	مائع
Fosse septique	Septic Trap	حفرة التعفن
Fongicides	Fungicides	مبيدات الفطريات
Fuite	Leakage	تسرب
Gel	Gel	هلام(متجلتن)
Germe pathogène	Pathogen	بكتريا ممرضة
Ginon	Ginon	كسب الزيتون
Glauconite	Glauconite (green sand)	الرمل الأخضر
Gouttes Mastic	Mastic drops	قطرات الصمغ
Gravimétrie	Gravimetry	تحليل وزني
Gradient de Potentiel	Potential Gradient	تدرج الكمون
Gradient de Concentration	Concentration Gradient	تدرج التركيز
Greffée	grafted	المطعمة

Grignons	Pomace (Olive Mill Solid Waste)	المخلفات الصلبة لعصر الزيتون
Hématopoiétique	Hematopoietic	خلايا دموية
Hémoglobine	Hemoglobin	خضاب الدم
Hétérotrophe	Heterotrophic	غيرية التغذية
Hétérogène	Heterogeneous	غير متجانس
Hélianthe	Helianthin	عباد الشمس
Herbicides	Herbicides	مبيدات الأعشاب
Homogène	Homogene	متجانس
Humiques	Humic	دبال
Humification	Humification	تدبل
Hydrodynamique	Hydrodynamic	حركة الموائع
Hyperfiltration	Hyperfiltration	ترشيح مفرط
Hydrophilisation	Hydrophilization	ألفة مائية
Hydrophile	Hydrophilic	أليف للماء
Hydrophobe	Hydrophobic	كاره للماء
Hydrargyrisme	hydrargyrism	أمراض زئبقية
Hydratation	Hydration	إماهة
Hydrolyse	Hydrolysis	حلمهة
Hydrocarbures	Hydrocarbons	هيدروكربونات (فحوم هيدروجينية)
Immunité	Immunity	حصانة – مناعة
Imprégner	impregnate	يتشرب
Indicateur	Indicator	مشعر
Intestinale	Intestinal	معوي
Insecticide	Insecticide	مبيد الحشرات
Influence	Influence	تأثير
Initial	Initial	ابتدائي
Inerte	Inert	خامل

Indice	Index	قرينة
Inactif	Inactive	غير فعال
Incinération	Incineration	تحويل إلى رماد (ترميد)
Indésirable	Undesirable	غير مستساغ
Incrustante	Encrusting	مغشى
Ion	Ion	شاردة
Ion Développeur	Developer Ion	الشاردة المظهرة
Ionization	Ionization	تشرد
Irradiation	Irradiation	تشعيع
Isotherme d'Adsorption	Adsorption Isotherm	متساوي الدرجة للامتزاز
Junction Double	Double Junction	الوصلة المضاعفة
Lacérateur	Lacerator	ممزِّق
Latex	Latex	مطاط نباتي
Les Eaux Souterraines	Groundwater	المياه الجوفية
Lgnine	Lignin	الخشبين
Liquéfaction	liquefaction	إسالة (تمييع)
Lit Bactérien	Bacterial Bed	سرير بكتري (مرشح بكتري)
Lit bactérien Successifs	Successive Bacterial Bed	أسرة بكترية مرتبة
Lit Bactérien Alternatifs	Alternative Bacterial Bed	أسرة بكترية متناوبة
Lit Bactérien Immergé	Bacterial Bed Immersed	أسرة بكترية مغمورة
Localization	Localization	تموضع
Lyophile	Lyophilic	ألفة للمحل
Lyophobe	Lyophobic	كاره للمحل
Macromoléculaires	Macromolecular	جزيئات ضخمة
Margines	Olive Mill Waste Water	المخلفات السائلة

	(OMW)	لعصر الزيتون (ماء الجفت)
Matières Humiques	Humics Substances	المواد الدبالية
Matières Fulvique	Fulvics Substances	مواد الفولفيك
Matières en Suspension (MES)	Suspended Solids (SS)	المواد المعلقة
Matières en Suspension Totale (MEST)	Total Suspended Solids (TSS)	المواد المعلقة الكلية
Matières Volatiles en suspension (MVS)	Volatile suspended solids (VSS)	المواد المعلقة القابلة للتطاير
Mélasse de Betterave	Beet Molasses	دبس الشوندر السكري
Membrane de Dialyse	Dialysis Membrane	غشاء الميز
Métabolisme	Metabolism	استقلاب
Métabolisme cellulaire	Cellular metabolism	استقلاب خلوي
Methode de régénération	Regeneration Method	طريقة التجديد
Micro-polluants organique	Organic micro-pollutants	ملوثات دقيقة عضوية
Micro - organismes	Micro – organisms	الأحياء الدقيقة
Microprocesseur	Microprocessor	المعالج الدقيق
Minéralisation	Mineralization	تمعدن
Microfiltration	Microfiltration	ترشيح دقيق
Miscibilité	Miscibility	قابلية الامتزاج
Micelle	Micelle	ميسيلا
Modules a` Fibres Creuses	Hollow fiber modules	نوع الخيوط المتشابكة
Modules Spirales	Spirals modules	النوع الحلزوني
Moisissure	Mold (Mould)	عفن
Molluscicide	Molluscicide	مضاد رخوي
Morphologie	Morphology	علم التشكل (المورفولوجيا)

Nanofiltration	Nanofiltration	"الترشيح الدقيق جدا
Nématicide	Nematicide	مضاد الديدان
Neutralization	Neutralization	تعديل
Néphélométrie	Nephelometry	شفافية (نيفلوميتري)
Nessler	Nessler	نيسلر
Neutre	Neutral	معتدل
Nitrification	Nitrification	نترجة
Norme de qualité	Quality standard	معايير الجودة
Nuisance	Nuisance	إزعاج
Nuisible	Harmful	ضار
Mucilage	Mucilage	لَثأ (لعاب النباتات)
Nutritif	Nutritious (nutrient)	مغذ
Nucléotide	Nucleotide	نوويدات (نكليوتيد)
Odeur	Odor	رائحة
Opacité	Opacity	تعتيم
Opacimétrie	Opacimetry	ظاهرة التعتيم
Organique Biodégradable	Biodegradable Organic	مواد عضوية قابلة للتحلل الحيوي
Organiques Solides Dissolubles	Solid Organic Dissolvable	مواد عضوية صلبة قابلة للانحلال
Organiques Volatiles	Volatile Organic	مواد عضوية طيارة
Osmose inverse	Reverse Osmosis	التناضح العكسي
Oxydabilité	Oxydability	قابلية الأكسدة
Oxygénation	Oxygenation	أكسجة
Oxygénomètre	Oxygen Meter	جهاز قياس الأكسجين
Ozone	Ozone	الأوزون
Ozonation	Ozonation	المعالجة بالأوزون
Ozoniseur	Ozonizer	مولد الأوزون
Ozonomètre	Ozonometer	مقياس الأوزون

Ozonide	Ozonid	أوزونيد
Pathogéne	Pathogenic	مُمرِض
Paramètres	Parameters	معاملات التشغيل
Pasteurisation	Pasteurization	بسترة
Pénétration	Penetration	تسلل
Percomposés	Per -compounds	فوق المركبات
Perméable	Permeable	نفوذ
Perte de Charge	Pressure Drop	الضغط الخلفي
Pesticide	Pesticide	مبيدات
Phase Mobile	Mobile Phase	الطور المتحرك
Phase Stationnaire	Stationary Phase	الطور الثابت
Phototrophe	Phototrophic	ضوئية التغذية
Phréatique	phreatic	جوفي (باطني)
Phytoplancton	Phytoplankton	العوالق النباتية
Pic	Peak	قمة
Plancton	Plankton	العوالق
Point de fuite	Vanishing Point	نقطة التسرب
Polaire	Polar	قطبي
Pollution fécale	Fecal pollution	تلوث غيطي(برازي)
Pollution Radioactive	Radioactive Pollution	تلوث إشعاعي
Porcelaine	Porcelaine	بورسلان (الخزف)
Potentiel Zêta	Zeta potential	كمون زيتا
Potentiel d'Hydrogène (pH)	Hydrogen Potential (pH)	دليل الهيدروجين
Polarimètre	Polarimeter	مقياس الاستقطاب
Polycondensation	Polycondensation	التكاثف المتعدد
Polystyrénique	Polystyrenic	عديدي الستيرينيك
Précipitation Chemical	Chemical Precipitation	ترسيب كيميائي
Précipitants	Precipitants	مرسبات

pression Transmembranaire	Transmembrane pressure	فرق الضغط بين وجهي الغشاء
Protozoaires	Protozoa	وحيدات الخلية
Prétraitement	Pretreatment	المعالجة الأولية
Protoplasme	Protoplasm	بروتوبلاسما
Protides	Protids	البروتيدات
Préchloration	Prechlorination	كلورة أولية
Pré-oxydation	Pre-oxydation	أكسدة أولية
Pré-ozonation	Pre-ozonation	أوزنة أولية
Pression Osmotique	Osmotic Pressure	ضغط تناضحي
Procédés d'Oxydation Avancés (POA)	Advanced Oxidation Processes (AOP)	طرائق الأكسدة المتقدمة
Procédé de Visualisation	Visualization Method	طريقة الإظهار
Procédures Biologicales	Biological Procedures	إجراءات حيوية
Promoteur	Promoter	حافز
Radical	Radical	جذر
Radiation	Radiation	إشعاع
Réactifs chimiques	Chemical reagents	كواشف كيميائية
Réduction Assimilatrice	Assimilative Reduction	الإرجاع التركيبي الغذائي
Réduction Dissimilatrice	Dissimilatory Reduction	الإرجاع ثنائي التركيبي الغذائي
Régulation Thermique	Thermal Regulation	منظم حراري
Résines	Resins	الراتنجات
Régénération	Regeneration	تجديد
Régulateurs	Regulators	منظمات
Rejets Industriels	Industrial Discharges	مخلفات صناعية
Reptisant	Reptisant	مببتز

Résistivité	Resistivity	مقاومة نوعية
Résidu	Residue	الراسب
Respirometre Électrolytique	Electrolytic respirometer	مقياس التنفس كهربائيا
Rétention	Retention	احتفاظ
Retrolavage	Backwashing	الغسيل العكسي السريع
Rudimentaire	Rudimentary	بدائي – فطري
Salinité Forte	High salinity	الملوحة القوية
Saumâtre	Saumatre	شديدة الملوحة
Saturation	Saturation	إشباع
Sélectivité	Selectivity	انتقائية
Semi-perméable	Semipermeable	شبه نفوذ(نصف نفوذ)
Sédimentation	Sedimentation	الترسيب
Séparation	Separation	فصل
Siccité Limite	Dyness Limit	حدود الجفاف
Silice Activée	Activated Silica	سيليس منشط
Siemens	Siemens	سيمنس
Site Actif	Active Site	مركز فعال (نشط)
Solides Dissous Totaux (SDT)	Total Dissolved Solide (TDS)	المواد الصلبة الكلية الذائبة
Solides Volatile	Volatile Solids	مواد صلبة طيارة
Solvatation	Solvation	تذاوب (انحلال)
Solutés	Solutes	المواد المذابة
Solution Tampon	Buffer Solution	محلول موقي
Solubilité	Solubility	انحلالية
Solubilisant	Solubilizing	مساعد الانحلالية
Solvant	Solvent	محل

Source	Source	مصدر (منبع)
souterrain	underground	تحت الأرض
Spores	Spores	أبواغ
Spectrophotomètre	Spectrophotometer	مقياس الطيف الضوئي
Spectrométrie de Masse	Mass Spectrometry	مطيافية الكتلة
Spirilles	Spirillae	حلزونيات
Station d'Ėpuration	Purification Station	محطة التصفية
Station de Traitement	Treatment Station	محطة المعالجة
Stations de Traitement des Eaux Usées	Treatment Plants Wastewater	محطات المعالجة لمياه الصرف
Statique	Static	ساكن
Stérilisation	Sterilization	تعقيم
Stéroles	Sterols	استيرولات
Structure	Structure	بنية
Suppression d’Ions	Ion Suppression	مزيل الشوارد المشوشة
Suspension	Suspension	معلق
Suspension colloïdale	Colloidal Suspension	معلق غروي
Sulfobactéries	Sulfobacteria	بكتريا الكبريت
Support	Support	حامل
Surfactifs	Surfactants	مواد فعالة سطحيا"
Surface	Area	سطح
Sulfonation	Sulfonation	سلفنة
Synthèse	Synthesis	تركيب عضوي
Système	System	نظام (جملة)
Systèmes Naturels	Natural Systems	نظم طبيعية
Systèmes Oxydants Combinés	Combined Oxidizing Systems	نظم الأكسدة المشتركة
Tamisage	Sieving	غربلة

Tampon	Buffer	موقي
Taux d'Ėfficacité	Efficiency rate	معدل الفعالية
Taux de Récupération	Recovery Rate	معدل الاستعادة
Temps de Rétention	Retention Time	زمن الاحتفاظ
Température Absolue	Absolute Temperature	درجة الحرارة المطلقة
Tensioactif	Surfactant	فعال سطحيا"
Tension Superficielle	Surface Tension	توتر سطحي
Tensiomètre	Tensiometer	جهاز قياس التوتر السطحي
Titre Acidimétrique	Acidimetric Title	معيار الحموضة
Titre Alcalimétrique	Alkalimetric Title	معيار قلوية الماء
Toxique	Toxic	سام
Tourbe	Peat	التراب الأحفوري
Traitement Anaérobique	Anaerobic Treatment	معالجة لاهوائية
Traitabilité Anaérobique	Anaerobic Treatability	قابلية التحلل اللاهوائي
Traitement des boues	Sludge Treatment	معالجة الحمأة
Transfert de masse	Mass Transfer	انتقال كتلوي
Turbidité	Turbidity	العكارة
Turbidimétre	Turbidimeter	مقياس العكارة
TyphoÏde	Typhoid	التيفوئيد
Ultrafiltration	Ultra Filtration	ترشيح فائق
Ultraviolets (UV)	Ultraviolet (UV)	فوق البنفسجي
Ultracentrifugeuse	Ultracentrifuges	فوق المثفلة (تثفيل قوي)
Ultrason	Ultrasound	موجات فوق السمعية
Viruses	Virus	الفيروسات (الحمات الراشحة)

Viscosité	Viscosity	لزوجة
Viscosité dynamique	Dynamic Viscosity	لزوجة حركية
Viscosité Relative	Relative Viscosity	لزوجة نسبية
Vitesse Électrophorètique	Electrophoretic Velocity	سرعة الهجرة الكهربائية
Vitesse Angulaire	Angular velocity	سرعة زاوية
Vinasses	Vinasses	بقايا العصارة الكحولية
Zéolithes	Zeolite	زيوليت
Zêtamètre	Zetameter	مقياس زيتا
Zooplancton	Zooplankton	العوالق الحيوانية
Zone de Saturation	Saturation Zone	منطقة مشبعة

المراجع

1- Abegg D., Calo N.,2008, Dosage des chlorures et des nitrates dans l'eau minérale par chromatographie ionique, Chimie Analytique II, Université de Genève.
www.asso-etud.unige.ch

2 - Achak M., Ouazzani N., Mandi L., 2009, Traitement des Margines d'une huilerie moderne par infiltration – percolation sur un filtre á sable, Revue des Sciences de l`Eau ,22 (3) P 421 .

3 - ALhayek N. , Legube B., Doré M., 1989, Environmental Technology Letters , Vol 10 , pp 415 .

4 - ALhayek N., 1985, Thèse , Docteur E-Sciences PHysiques , Université de Poitiers .

5 - ALhayek N. Eymery J. P., Doré M., 1985, Water Researche, 19, (5), 657.

6 - ALhayek N., Doré M., Sciences de l`Eaux, 1, 2, 185, 1982.

7 - Alibet B., Determination des parameters biocinétiques pour la conception d'étangs aérès complétement mélanges.
www. axor. com

8 - American Public Health Association, Standard Methods the Examination of Water and Waste Water, NEW YORK, 1975.

9 - Arnaud G., 1986, Quelque Cas Typiques de Pollution d' Eau de Nappe, T. S. M. LEAU, 465 – 474

10 - Bassompierre B., 2007, Procedé á boues activées pour le traitement des effluents papetiers, Thèse, INP – France

11 - Baulig A., Pichard A., 2008, Seuils de toxicité aiguë – phénol, INERIS – DRC – ETSC - Nº 47021 – 058

12 -Baudin I., Rodrigues J. M., Huet S., 2005, Optimmisation du Procédé de clarification utilization des polymers cationiques , Thechnologies de l'eau – Alimentation en eau potable.

13 - Beaudry J. P., 1984, Traitement des Eaux, Canada.

14 -Bentitez J., Acero J. L., Gonnzalez T., Garcia J., 2001, Process Biochemistry , 37, PP 257.

15 - Benyahia N., Zein K., 2003, Analyse des problèmes de l'industrie de l'huile d'olive et solutions récents développées, SBA , www.sba.gov

16 - Bremond R., Vuichard R., 1980, Paramétres de la Qualité des Eaux, Paris.
17 - Blard S., 2005, Les techniques de traitement des eaux chargés en Arsenic ,Fluor et Plomb, Minstére de l`Agréculture et de la Pêche – ENGREF
18 - Bontoux J., 1993, Introduction á l'étude des eaux douces, eaux naturelles, eaux usées, eaux boisson, qualité et santé.
19 - Bormans,1974, Analyse des Eaux Résiduaires Industrielles, Paris.
20 -Bremond R., Vuichard R.,1977, Paramétres de qualité des eaux, Ministére de la production de la nature et de l'environnement, Secrétariat permanent pour l'etude des problèmes de l'eau, Paris.
21 - Canler J. P., 2001, Ministére de L`Agriculture et de la Pêche , FNDAE, N◦ 24, Document Technique, France.
22 - Cemagref, Science, eaux et Territoires, www.cemadoc.cemagref.fr
23 - Champetier, Monnerie, 1969, Introduction à la Chimie Macromoléculaire, Paris.
24 - Charles R., 1967, Techniques et contrôle du traitement des eaux, O.M.S. N49.
25 - Chergui – Bouafia S. , Alloune R., 2007, Procédé d'Oxydation avancée pour le traitement des eaux usées: principe et applications, Revue des Energies Renouvelables, 07,163.
26 - Christman R. F., Ghassini M. J., 1976, Amer. Water Works Ass.,58. 773 .
27 - Christman R. F., Gjessing E. T., 1983, Aquatic and terrestrial humic materials, Ann. Arbor Science Pub., Michigan.
28 - Coin L, Hanoun C, Gomella C.,1964, Presse Med.,12;72; 2153-2156.
29 - Compte Rendus des Journées Information Eau, 1988, 1986, 1984, 1982, 1980, 1978, 1976, Université de Poitiers, France.
30 - Contamination radioactive - Wikipédia.htm
31 - Critéres de qualité des eaux pour les poisons d'eau douce européens – rapport sur l'effet de la pollution par le Zinc et le Cuivre sur les pêcheries de samonidés, 1977, FAO, document techniques de la CECPI Nº 29.

32 - Dardel, 1987, Résine Echangeuse d'Ions et Eau Potable, L'Eau , Industrie, les Nuisances, N◦ 112, PP 45, Paris.
33 - Degrément, 1978, Mémento Technique de L'Eau, Paris.
34 - De laat, Merlet, Doré, 1982, Water Res., Vol. 16, pp 1437.
35 - Deschiens R., Ayad N., Le Corroller R., 1961, Molluscicides á action elective et molluscicides de contact dans la prophylaxie des bilharzioses, Bull. Org. Mond. Santé, 25, p 589.
36 - Détermination des anions: methods par Chromatographie ionique,2013,Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.
www.ceaeq.gou.qc.ca
37 - Directives du Conseil des Communauté Européennes du 16 juin 1975 (eaux superficielles) nº 75/440 – j.o.c.e. nº L/194/29 du 25 juillet 1975 et du 15 juillet 1980(eaux de consummation) nº 80/778 – j.o.c.e. nº L/229/11 du 30aout 1980.
38 -DIop A., Pastore P., Magno F., 1991, Cah.Orstom,Sér.Pédol., Vol. 26,n° 3, 259.
39 - Doré M., 1989, Chimie des Oxydants et Traitement des Eaux, Technique et Documentation – Lavoisier, France.
40 - Eggers, Gregory, Halsey, Rabinovitch, 1964, PHysical Chemistry, Washington.
41 - Eléments pour une Histoire des Procédés de Traitement des Eaux Résiduaires, 1986, Trb. Cebedeau , n° 511 – 512, 39, pp 3.
42 - Erguder T. H., Guven E., Demirer G. N., ATD Environmental Technologies.
43 - Etude de la pollution en chrome de la Charente, 1993, Institut Français de l'Exploitation de la Mer - Tremlade – France.
44 - Fripiat, 1971, Chemie Physique des Phenomènes de Surface, Paris.
45 - Gatesoupe F.J., Lésel R.,(1998) Floredivgestive des poisons: approche envirenmentale.
www.archimer.ifremer.fr
46 - Gressier F., 2008, Etude de la rétention des radionucléides dans les resins échangeuses des circuits d'une central nucléaire á eau sous pression,
Thèse , MINES,Paris Tech.

47- Gumy D., De Alencastro L.F., 2000 – 2001, Origine de la pollution de Léman par le chlorure, Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut.camagne,191-206.

48 - Guide pour les measures ionometriques, Mettler Toledo. www.mt.com

49 - Haddad P.R., Jackson P.E., 1990, Ion chromatography-Principes and applications, 1st , J. Chromatogr. Library, Vol. 46, Elsevier,Amsterdam.

50 - Javet, Lerch, Plattner, 1987, Introduction à la Chimie pour Ingénieurs , Lausanne.

51 - Jenke D.R., Pagenkpf G.K., 1984, Anal. Chem., 56, 85.

52 - International Union of Pure and Applied Chemistry, 1993, Pure et App. Cem.,65,819.

53 - Intoxication par Plomb de l'enfant et de la femme enceinte, 2003, Conférance de Consensus, université catholique – Lille – France.

54 - Legrand L., Poirier G.,1976, Chimie des eaux naturelles, Eyrolles,Paris, France.

55 - Le Guide de Conception, 2006, Ministére du Développement durable, de L'Environnement et des Parcs, Canada.

56 - Les Cahiers Techniques de L'Eau.
www.cg33.fr

57 - Léonard A. , 2002, Etude du séchage convective de boues de station d'épuration, Thèse, université Liège, France.

58 - L'hirondel J., 2002, Nitrate and man, toxic, harmless or beneficial?,CABI.
www.cabi.org

59 - Masschelein W. J., 1980, L'Ozonation des Eaux, Paris.

60 - Ndiaye C.M.,1998, Etude de la chromatographie ionique comme méthode de référence potentielle pour la détermination simultanée de cations alcalins,alcalino-terreux et d'ions ammoniums dans les eaux et les sols, Thèse, Université Cheikh Anta Diop de Dakar

61 - Meinck F., Stoof, H., Kolschuttier H., 1970, Les eaux résiduaires industrielles , Masson , Paris.

62 - Meink F., Stooff H., Kohlschutter H., 1977, Les Eaux Résiduaires Industrilles , Paris.

63 - Memotec, 2006, n° 7.
www.gls.fr
64 - Methodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau, 2010, Rapport: Office Fédération de l'environnement.
65 - Michel E., 2003, Ministére de L'Agriculture et de la Pêche , FNDAE, n◦ 12 , Document Technique, France.
66 - Mills C. J., Bull R. J., Cantor K. P., 2000, Risques pour la santé lies á la consummation de sous-produits de la chloration de l'eau potable: rapport d'un groupe d'experts, Maladies Chroniques au Canada,Vol. 19, nº 3
67 - Moore, 1965, Chimie Physique, Paris.
68 - Mutin G., 2000, L'eau dans le monde Arabe, France.
69 - Normes de l'OMS sur l'eau potable,2006.
70 - Note Technique, n° 14, 1999, Ministère de L'Economie,des Finances et de L'Industrie, Canada.
71 - Pondolfi D., 2006, Caractérisation morphologique et physiologique de la biomasse des boues activées par analyse d'images, Thèse, I. N. P. C, Lorraine, France.
72 - Potabilisation des eaux – Traitement spécifiques, www.eau-seine-normandie.fr
73 - Ramade F., 1982, Eléments d'Ecologie, Ecologie Appliquée, Paris.
74 - Renders, 1980, Trib. Cebedeau, n° 435, 33, pp 91.
75 - J. Rouhart, 1986, L'Epuration des Eaux Usées Domestiques,Lavoisier,France.
76 - Rodier J., 1978, L'analyse de L'Eau, Paris.
77 - Rodier J., Legube B., Merlet N., 2009, L'analyse de l'eau, 9^{e} edition, DUNOD,France.

78 - Roberts j. D., Caserio M. C.,1968, Chimie Organique Moderne, Edi-Science , Paris, France.
79 - Roberts, Farrington, Alberty, Daniels, 1978, Physical Chemistry, New Yourk .
80 - Rocklin R.D., Tulsen T.R., Marucco M.G., 1994, J. Chromatogr. A, nº 671, pp 109.

81 - Rouessac F., Rouessac A., 2004, Analyse chimique, Méthodes et techniques instrumentals moderns, 6[e] edition, DUNOD, France.
82 - Schnitzer M.,Khan S.U., 1972, Humic substances in the environments, Dekker, New Yourk.
83 - Schwartzbrod J., Martin G.,1985, Dans le point sur l'épuration et le traitement des effluents, Lavoisier Technique et Documentation, Paris, France.
84 -Small H., Stevens T.S., Bauman W. C., 1975, Anal. Chem., 47, 1801.
85 - Soetaert K., Petzoldt T., Meysman F., 2010, Tools for aquatic Sciences.
www.nioz.nl
86 - Stumm W. , 1964, advances in water pollution research. Proc. 1[st]. Int. Conf. London 1962, volume 2, P 216, Pergamon
87 - Thebaut, Cases, Fiessinger, 1981, Water Research, Vol. 15, pp 183.
88 - Thermo – Orion.
www.thermo.com
89 - Thevenot D., Varrault G., 2005, Traitement des eaux potables,Uni. Paris XII – Val de Marne,ENPC,ENGREF.
www.enpc.fr
90 - Thurman E. M. , Malcolm R. L., 1981, Env. Sci. Technol., 15, 463.
91 - Vaillant J. R., 1973, Protection de la Qualité des Eaux et Maitrise de la Pollution, Paris.
92 - Vankaam R., 2005, Thèse , Doctorat , I. P. T, Toulouse, France .
93 - Viehweger K.H., Seubert A., 2002, Introduction á la pratique de la chromatographie ionique, Metrohm,Suiss.
94 - Veillerette M. F., Nicolino F., 2007, Pesticides: revelations sur un scandale Français.
95 - Zaviska F., 2009, Procédés d'oxidation avancée dans le traitement des eaux et des effluents industriels, application à la degradation des pollutants réfractaires, Revue des Siences de l'Eau, Vol. 22, n° 4, p 535.
96 - Youcef L., Achour S., 2005, Larhyss Journal n° 04 , PP 129.

97- التقرير الاقتصادي العربي الموحد، 2001، البنية الأساسية: المياه والصرف الصحي والنقل والإسكان.

www.4enveng.com

98- الحايك نصر، 1989، تلوث المياه وتنقيتها، الجزائر.

99- الحايك نصر، 1989، طرائق تحليل المياه، الجزائر.

100- الحايك نصر ، 1990 ، طرائق معالجة مياه الصرف، دمشق.

101- الحايك نصر ، 1990 ، مدخل إلى كيمياء السطوح ، الجزائر.

102- الحسين حمود ، حجار سلوى, 2009، تلوث المياه الجوفية في حوض دمشق بالنترات، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ، مجلد5 عدد1.

103- السباعي عبد الخالق ، 1974، الكيمياء الطبيعية، الأسكندرية.

104- العودات محمد ،1988 ، التلوث وحماية البيئة ، دمشق.

105- المياس عصام ، 1981، مشاكل تلوث البيئة الزراعية، بيروت.

106- بلدية رياض ، 2010 ، دراسة تلوث المياه الجوفية ضمن منطقة بساتين أبي جرش، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية مجلد 26 عدد1.

107- بنود عبد الحكيم ، 2009، اسبوع العلم 49 بجامعة البعث (مؤتمر إدارة النفايات الصلبة والسائلة في سورية، الواقع وآفاق التطوير).

108- تقرير فني(2004): دراسة موضوع التلوث الناتج عن مخلفات معاصر الزيتون (مياه الجفت) ومياه الصرف الصحي التي تلوث عددا" من المصادر المائية المستخدمة لأغراض الشرب في محافظة طرطوس، مركز الدراسات والبحوث العلمية، دمشق، سورية.

109- حمد ابتسام ، عطية سوسن، 1994، دراسة تلوث مياه حوض دمشق، المؤتمر الدولي الرابع حول حماية البيئة ضرورة من ضرورات الحياة، الأسكندرية، مصر.

110- جمعة ، نوفا ، 2009، أسبوع العلم 49 بجامعة البعث (مؤتمر ادارة النفايات الصلبة والسائلة في سورية، الواقع وآفاق التطوير).

111- سوسان عماد, حمد ابتسام, المحمد ياسر، 1999, تقدير بقايا المبيدات والجراثيم والطفيليات في المياه السطحية والجوفية في غوطة دمشق، مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية, مجلد 15, عدد2.

112– شبكة النبأ المعلوماتية.

http://www. annabaa. org

113– شكر الله رضوان ، 2010، معالجة مياه الصرف وإعادة استعمالها، التقرير العربي للبيئة والتنمية.

www.arsco.org

114– دلائل جودة مياه الشرب، 2004، منظمة الصحة العالمية، جنيف.

115– فلاذي بهجت ، 1978 ، مبادىء الكيمياء الغروية، حلب.

116– محملجي راتب ،1971 موجز الكيمياء الغذائية، دمشق.

117– مجلة العلوم،1990، مجلد 3 عدد 4 لعام 1987، والمجلد 7 عدد 3

118– مجلة أفاق علمية،1990، العدد 27

119– موقع وزارة الري في الجمهورية العربية السورية.

www.irrigation.gov.sy

120– موقع على شبكة الأنترنيت.

www. atomer. fr

121– موقع على شبكة الأنترنيت.

www.4nabk.ahlamontda.net

122– ناصر أميمة ،2008, مساهمة في دراسة المعالجة البيوكيميائية للمياه الناتجة عن معاصر الزيتون لإنتاج الغاز الحيوي. اطروحة دكتوراه – جامعة تشرين السورية.



لمحة عن المؤلف

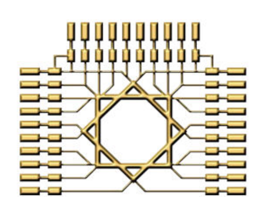
الدكتور نصر الحايك حائز على دكتوراه دولة في العلوم الفيزيائية (1985) ودكتوراه المرحلة الثالثة في الكيمياء (1976) من جامعة بواتييه–فرنسا، وقد مارس التدريس والبحث العلمي في جامعتي قسنطينة في الجزائر وبواتييه في فرنسا.

للدكتور الحايك سبعة مؤلفات في مجال تلوث المياه ومعالجتها وفي العلوم الكيميائية، وهي منشورة في الجزائر وسورية، وله عدة أبحاث منشورة في دوريات علمية عالمية.

هذا الكتاب:

يتناول الكتاب المحاور المختلفة اللازمة لطلبة هندسة البيئة والعاملين في مجال تحليل ومعالجة المياه، ويضم خلاصة 35 عاماً من العمل والخبرة ضمن هذا المجال.

الكتاب موزع على سبعة فصول، حيث يبدأ بلمحة تاريخية عن تطور طرق المعالجة والتحليل، ثم يعرض الخواص الأساسية للمياه الطبيعية والتوازنات المختلفة للوسط المائي والمواد المنحلة ودورها في التلوث، وتأثيرها على الوسط المائي والصحة العامة. جرى تخصيص ثلاثة فصول لموضوع معالجة المياه بأنواعها (مياه طبيعية–مياه صناعية–مياه صرف)، حيث تغطي ما يحتاجه الطالب والفني من أسس نظرية ومعلومات تقنية في هذا المجال، تتضمن استعراضاً للتقنيات الحديثة المستعملة في معالجة المياه. يتناول الفصل الأخير التحاليل الفيزيائية والكيميائية للمياه، بحيث يشمل الأسس النظرية والطرق الكيميائية والتجهيزات الحديثة المعتمدة في تحليل المياه.



المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

Higher Institute for Applied Sciences and Technology

www.hiast.edu.sy

ISBN 978-9933-9228-6-3

9 789933 922863